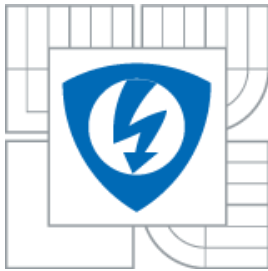




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

HODNOCENÍ AUTOMATICKÝCH METOD SEGMENTACE CÉVNÍHO ŘEČIŠTĚ

EVALUATION OF AUTOMATIC VESSEL TREE SEGMENTATION ALGORITHMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. JAN ODSTRČILÍK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Ondřej Svoboda

ID: 115117

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Hodnocení automatických metod segmentace cévního řečiště

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s vlastnostmi barevných fotografií sítnice z digitální fundus kamery. Zaměřte se zejména na vlastnosti cévních struktur. Dle pokynů vedoucího nastudujte aktuální metody segmentace cévního řečiště na fundus fotografiích sítnice.

Navrhněte metodiku kvantitativního hodnocení těchto metod. Pro účely hodnocení vytvořte z dostupných obrazových dat databázi zlatých standardů.

V programovém prostředí MATLAB realizujte software, který bude umět statisticky vyhodnotit úspěšnost segmentace automatických metod s využitím vytvořené databáze. Proveďte diskusi dosažených výsledků a k vytvořenému softwaru sepište přehlednou dokumentaci a návod k obsluze.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] JAN, J. Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration - Concepts and Methods. CRC Tylor and Francis. New York, 2005.

[2] PANG, K.Y. Segmentation of Retinal Vasculature in Colour Fundus Images, Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA 2009) Monash University, Sunway campus, Malaysia, 25th - 26th July 2009.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Jan Odstrčilík

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.

Zde vložit licenční smlouvu

Zde vložit licenční smlouvu

Abstrakt

Při analýze retinálních snímků představuje segmentace cévního řečiště důležitý krok celého postupu. Výsledky analýzy mohou být použity při diagnostice onemocnění očního aparátu a onemocnění kardiovaskulárního systému. Tato práce se zabývá vytvořením databáze zlatých standardů ze snímků sítnice ve vysokém rozlišení a jejich použití při hodnocení úspěšnosti segmentace cévního řečiště automatickými metodami. Dalším cílem práce je vytvořit aplikaci, která umožní online hodnocení úspěšnosti detekce cévního řečiště pomocí automatických počítačových metod. Ve stručnosti se v této práci popisují vlastnosti obrazových dat z digitální fundus kamery, metody segmentace obrazu a metody automatické segmentace cévního řečiště. Dále jsou popsány zlaté standardy, jejich databáze a v neposlední řadě vlastnosti a důvod vzniku databáze HRF (High Resolution Fundus Images). Poslední kapitola se zabývá způsoby hodnocení úspěšnosti detekce cévního řečiště automatickými metodami a vývojem aplikace určené k tomuto hodnocení.

Klíčová slova: retinální snímky, snímky sítnice, segmentace cév, zlaté standardy snímků sítnice, hodnocení automatických metod segmentace cév, metody segmentace cévního řečiště

Abstract

Segmentation of the vasculature is an important step in the process of the retinal image analysis. The results of the analysis can be used to diagnose several eye and cardiovascular diseases. This work deals with the creation of gold standard database of high resolution retinal images and their use in evaluating the success of vascular automatic segmentation methods. The aim is to create the application, which will online evaluate the success of the automatic vessel segmentation methods. In brief, this work describes the characteristics of image data from digital fundus camera, the method of image segmentation and automatic segmentation methods of blood vessels. Furthermore, this work describes the gold standard, the databases of gold standards and ultimately the properties of the new database and the reason for HRF (High Resolution Fundus Images). The last chapter deals with methods of evaluating the success of vascular automatic detection methods and application development for this assessment.

Keywords: retinal images, vessel segmentation, blood vessels segmentation, gold standard of retinal images, evaluation of automatic vessel segmentation methods, methods of automatic vessel segmentation

SVOBODA, O.: *Hodnocení automatických metod segmentace cévního řečiště*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 56 s., 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Odstrčilík.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Hodnocení automatických metod segmentace cévního řečiště jsem vypracoval(a) 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(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora (autorky)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Odstrčilíkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Práce byla podporována výzkumným centrem DAR (Data, Algorithms, Decision Making), Ústav teorie informace, Akademie věd ČR (projekt č. 1M0572).

V Brně dne

.....
podpis autora (autorky)

Obsah

1. Úvod	11
2. Obrazová data z digitální fundus kamery.....	13
2.1. Fundus kamera.....	13
Obecný princip funkce a konstrukce fundus kamery.....	13
Fundus kamera CANON CF-60 UVi.....	14
2.2. Vlastnosti barevných fotografií sítnice z digitální fundus kamery.....	15
2.3. Vlastnosti cévních struktur na fotografii sítnice.....	16
3. Metody segmentace cévního řečiště ze snímků sítnice	18
3.1. Segmentace obrazu	18
3.2. Metody segmentace cévního řečiště.....	19
Princip segmentace cévního řečiště automatickou metodou s využitím přizpůsobených filtrů.....	20
4. Databáze zlatých standardů pro účely vyhodnocení segmentačních metod	22
4.1. Zlatý standard a jeho využití	22
4.2. Databáze zlatých standardů.....	22
Databáze DRIVE	22
Projekt STARE	23
Databáze HRF (HighResolution Fundus Image Database).....	24
5. Aplikace pro hodnocení automatických metod segmentace cévního řečiště.....	26
5.1. Kritéria hodnocení	26
Sensitivita	26
Specificita.....	26
Přesnost měření (accuracy).....	26
ROC křivka.....	27
5.2. Návrh aplikace.....	28
5.3. Implementace aplikace.....	30
5.4. Uživatelské prostředí aplikace.....	32
5.5. Stručný návod k aplikaci.....	32
6. Výsledky a diskuze	36
7. Závěr 40	
8. Seznam použité literatury	41
9. Použité zkratky a symboly	44
10. Přílohy	45

Seznam obrázků

Obr. 1: Principiální schéma fundus kamery: 1 – zobrazovací jednotka; 2,3,4 – poziční jednotka; 5 – operační panel pro lékaře; 6 – objektiv; 7 – počítač[13].....	13
Obr. 2: Fundus kamera CANON CF-60 UVi[21].....	15
Obr. 3: Snímek zadní části sítnice (retiny): a) barevný snímek; b) zelený kanál	15
Obr. 4: Barevné kanály snímku z databáze ÚBMI: a) červený kanál; b) zelený kanál; c) modrý kanál	16
Obr. 5: Průběh zásobovacích cév a optický disk v zelené složce RGB obrazu	16
Obr. 6: Detail cévy s centrálním reflexem.....	17
Obr. 7: Druhy cév na snímcích sítnice	17
Obr. 8: Výstupy z etap zpracování : a) originální obraz; b) parametrický obraz tenkých cév; c) konečný výstup metody [15]	21
Obr. 9 : Snímek z databáze Drive: a) originální obraz; b) 1. manuálně segmentovaný obraz;	23
Obr. 10: Příklad snímku z projektu STARE a) snímek cévního řečiště; b) oftalmologem manuálně segmentované cévní řečiště; c) oftalmologem manuálně segmentované cévní řečiště; d) automaticky segmentované cévní řečiště [24]	24
Obr. 11: Příklad snímku diabetické retinopatie z databáze HRF a) snímek z databáze ÚBMI; b) zelená složka snímku a;..	25
Obr. 12: Příklad reálné ROC křivky [12].	27
Obr. 13: Vývojový diagram aplikace	29
Obr. 14: Část kódu nahrávající obrázky na server	30
Obr. 15: Část kódu počítající statistiky obrázku	31
Obr. 16: Část kódu počítající statistiky obrázku	31
Obr. 17: Úvodní obrazovka aplikace.....	33
Obr. 18: Úvodní obrazovka aplikace po načtení obrázků a zvolení správného typu nahraných obrázků.....	33
Obr. 19: Dodatečné úpravy po uložení dvou oblastí pro snímek.....	34
Obr. 20: Průběh hodnocení aplikace	34
Obr. 21: Výsledky hodnocení 7-mi nahraných snímků.....	35
Obr. 22: Detailní výsledky pátého snímku z předchozí tabulky.....	35
Obr. 23: Ukázka výsledků v XML, zobrazeno hodnocení zdravých snímků bez použití masky	38

Seznam tabulek

Tab. 1: Technické specifikace fundus kamery CANON CF-60 UVi[21]	14
Tab. 2: Rozdělení snímků v nové databázi	25
Tab. 3: Tabulka intervalů AUC a odpovídajících kvalit testu [14].....	27
Tab. 4: Procentuální výsledky automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na databázi DRIVE [15]....	36
Tab. 5: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na zdravých snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky.....	37
Tab. 6: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na glaukomatických snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky	37
Tab. 7: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na retinopatických snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky	38

1. Úvod

Segmentace cévního řečiště ze snímků sítnice patří v dnešní době k významným diagnostickým postupům při onemocnění očního aparátu. Na oční pozadí má vliv mnoho různých onemocnění spojených např. s kardiovaskulárním systémem nebo diabetickou retinopatií [15]. I onemocnění jako je cukrovka nebo arterioskleróza, mohou mít vliv na oční pozadí [32]. Proto je důležité u osob s kardiovaskulárními nebo diabetickými obtížemi věnovat zvýšenou pozornost stavu očního pozadí. Pro hodnocení zdravotního stavu oční sítnice se nejčastěji využívá hodnocení stavu cévního řečiště, např. z retinálních fotografií (fotografií z tzv. fundus kamery).

Onemocnění očního aparátu a onemocnění majících vliv zejména na sítnici existuje mnoho. Zajímavé jsou práce zabývající se diagnostikou diabetické retinopatie [5], glaukomu [6], případně makulární degenerace [7]. Jako příklad můžeme uvést jedno z nejčastějších onemocnění očního aparátu – zelený zákal neboli galukom [31]. Jedná se o degenerativní, geneticky podmíněné poškození očního nervu. Glaukom patří se svými 13 % prevalence na první místa žebříčku v celosvětových příčinách slepoty [31]. Další z onemocnění sítnice můžeme uvést věkem podmíněnou makulární degeneraci (AMD) [29]. Toto onemocnění můžeme rozdělit na výpotkovou a bezvýpotkovou. V západním světě postihuje AMD až 35 % populace starší 50-ti let [29]. Jako onemocnění spojená s očním aparátem můžeme uvést již výše zmíněnou diabetickou nebo hypertenzní retinopatii, které svým zvýšeným tlakem způsobují nevratné změny očního nervu a očního ústrojí jako celku. Může tak docházet až k úplné ztrátě zraku [31].

Segmentace cévního řečiště na snímcích sítnice je v dnešní době již z velké části automatizovaná. V rámci preventivních screeningových programů se uplatňují metody automatické počítačové analýzy, které zjednodušují včasnou diagnostiku onemocnění. Existuje řada algoritmů pro automatickou segmentaci, můžeme zmínit například automatickou segmentaci cévního řečiště metodou přizpůsobených filtrů [15], metodu hřebenové klasifikace [44] nebo metodu používající 7-mi dimenzionální příznakový vektor [39]. Na retinálních snímcích je ovšem mimo cévní řečiště patrná celá řada objektů a jejich lokalizací se zabývá mnoho metod. Můžeme zmínit např. lokalizaci optického disku, detekci žluté skvrny [1], [2], [3], [4]. Tyto metody se uplatňují jako pomocný prostředek nejen pro diagnostiku nemocí spojených s očním aparátem, ale např. i u arteriosklerózy.

O vlastnostech snímků sítnice a cévních strukturách obsažených na snímcích pojednává podrobněji kapitola 2. Jsou zde popsány důležité oblasti na sítnici a jejich vlastnosti. Následně jsou v další kapitole popsány základní principy segmentace obrazu. Zejména se tato kapitola věnuje metodám segmentace cévního řečiště.

Úspěšnost každé metody vyžaduje ověření správnosti detekce onemocnění. K jednoznačnému vyvrácení nebo potvrzení onemocnění slouží tzv. zlatý standard, viz kapitola 4. Pro případ metod segmentace cévního řečiště je nutné mít snímky, na nichž je jednoznačně vyznačeno pouze cévní řečiště. Výsledky metody jsou poté porovnávány právě s tímto zlatým standardem. K hodnocení úspěšnosti segmentace cévního řečiště se používají parametry: sensitivita, specifická, přesnost a případně také ROC křivka. Současné světově

dostupné databáze zlatých standardů retinálních snímků jsou ovšem ve velmi nízkém rozlišení, bylo tedy nutné v rámci této práce vytvořit databázi v dostatečném rozlišení pro testování metod uvedených v kapitole 3.2. Tato databáze je popsána v kapitole 4.2.

Tato práce se věnuje hodnocení úspěšnosti automatické segmentace cévního řečiště metodou využívající přizpůsobené filtry [15]. Pro hodnocení úspěšnosti metod segmentace cévního řečiště na snímcích sítnice byla vytvořena online aplikace umístěná v současnosti na webových stránkách:

<<http://projects.ubmi.feec.vutbr.cz/ophthalmo/vessel/>>

Principy funkce aplikace jsou uvedeny v kapitole 5.2. Návod k vytvořené aplikaci v anglickém jazyce je k této práci přiložen jako příloha 1. Současně byla aplikace otestována s využitím výsledků automatické segmentace cévního řečiště pomocí metody využívající přizpůsobenou filtraci [15].

2. Obrazová data z digitální fundus kamery

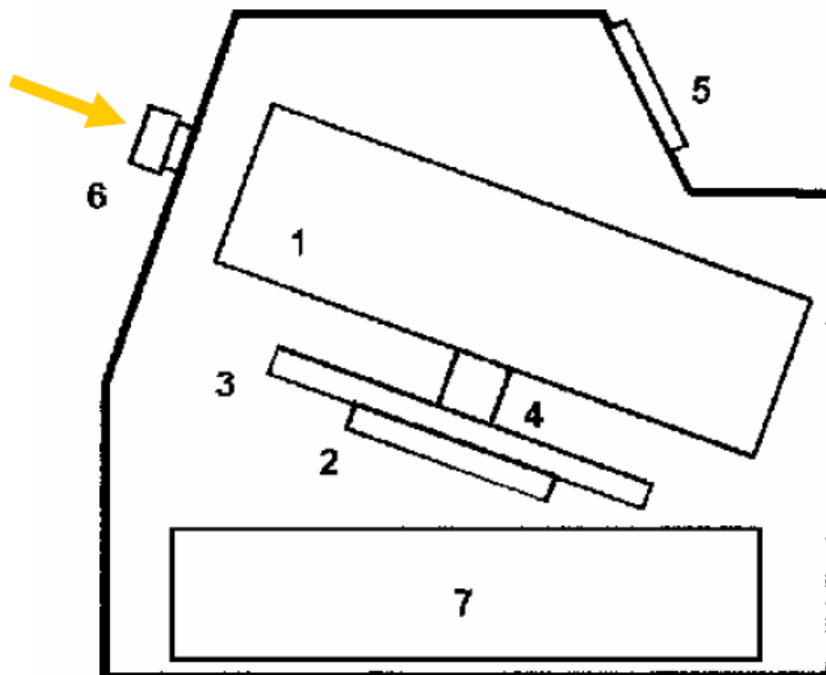
2.1. Fundus kamera

Sítnice oka je jediné místo v lidském těle, kde lze neinvazivně pozorovat cévní řečiště. Tohoto faktu využívá mnoho přístrojů, jako jsou mikroskopy, oční zrcátka a také digitální fundus kamery.

Obecný princip funkce a konstrukce fundus kamery

V moderním lékařství se mimo oftalmoskopu využívá pro zobrazení očního pozadí digitální fundus kamery. Digitální fundus kamera je speciální nízkoenergetický mikroskop, který snímá pomocí digitálního fotoaparátu oční pozadí. Praktické využívání fundus kamer při diagnostice očních vad a onemocnění spojených s kardiovaskulárním systémem podporuje včasnou diagnostiku onemocnění, např. glaukomu nebo diabetické retinopatie.

Fundus kamery osvětlují zdrojem bílého světla sítnici, jejíž obraz je následně snímán CCD čipem. Jsou vybaveny systémy, které automaticky naleznou střed sítnice. Rovněž jsou vybaveny systémy umožňující automatické ostření. Automatické ostření je prováděno hodnocením podílu vysokých frekvencí snímaného obrazu. Kamera je dále vybavena systémem automatického řízení intenzity osvětlení očního pozadí, nastavení se provádí hodnocením jasu u předchozích snímků a hladina intenzity osvětlení se poté nastaví podle průměru jasů předchozích snímků. Principiální schéma fundus kamery je na Obr. 1.



Obr. 1: Principiální schéma fundus kamery: 1 – zobrazovací jednotka; 2,3,4 – poziční jednotka; 5 – operační panel pro lékaře; 6 – objektiv; 7 – počítač[13].

Fundus kamera CANON CF-60 UVi

Veškerá data z databáze ÚBMI (Ústav biomedicínského inženýrství, FEKT, VUT v Brně), použitá pro automatickou i ruční segmentaci cévního řečiště, byla snímání pomocí digitální fundus kamery CANON CF-60 UVi s vestavěným fotoaparátem CANON EOS-20D s nastaveným FOV (Field of View) 60°. Na Obr. 2 je zobrazena fundus kamera CANON CF-60 UVi.

Vlastnosti

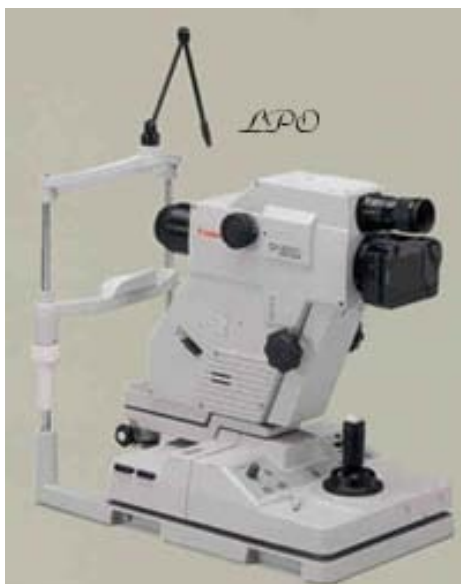
- zobrazení FOV 30°, 40°, 60°
- přesný zaostřovací systém
- nastavení pracovní vzdálenosti
- automatická expozice na 35mm barevné fotografie
- automatické natáčení
- volitelně snímání s červeným a modrozeleným filtrem
- možnost fluorescenční a indocyaninové angiografie (automatické nastavování filtrů)
- režim snímání při úzké zornici
- vestavěný fotoaparát CANON EOS-20D s 8,2 Mpix CMOS snímačem
- možnost tisku snímků

Technické specifikace

Tab. 1: Technické specifikace fundus kamery CANON CF-60 UVi[21]

Zorné pole FOV 60°, 40°, 30°	60°, 40°, 30°
Zvětšení u 35 mm filmu	1.7x (60°), 2.5x (40°), 3.4x (30°)
Velikost snímků	ø29 mm ´ 22 mm (35 mm film) ø75 mm ´ 57 mm (Polaroid film)
Minimální průměr čočky	ø4 mm
Pracovní vzdálenost	45 mm
Rozsah dioptrií	-10 to +12D (bez kompenzační čočky) -6 to -27D (záporná kompenzační čočka) +9 to +32D (kladná kompenzační čočka)
Nastavení dioptrií obsluhy	± 5D
Zdroj bílého světla	300 W xenonová výbojka
Možnosti natáčení	Vertikálně: 38 mm Dopředu/dozadu: 70 mm Vpravo/vlevo: 120 mm Pohyb tváře: 65 mm
Rozměry	320 mm x 560 mm x 565 mm
Váha	26 kg

Uvedené specifikace byly převzaty od výrobce [21].



Obr. 2: Fundus kamera CANON CF-60 UVi[21]

2.2. Vlastnosti barevných fotografií sítnice z digitální fundus kamery

Na Obr. 3 je z anatomického hlediska uprostřed patrná žlutá skvrna (fovea) a vpravo je optický disk (papilla), ze kterého vycházejí zásobovací cévy (tepny a žíly). Umístění optického disku a rozložení cévního řečiště se hodnotí při diagnostice očních onemocnění. Dále se na snímcích nachází nervová vlákna charakteristická světlým žháním, která jsou nejvíce patrná v místě optického disku, jelikož se zde sbíhají do zrakového nervu a opouští oko. Největší koncentrace nervových vláken je v oblasti žluté skvrny.

Při patologických změnách sítnice lze na snímcích nalézt např. zvětšené či zmenšené průřezy cév. Cévní řečiště může být rozšířeno do mnoha nitkovitých cévek.

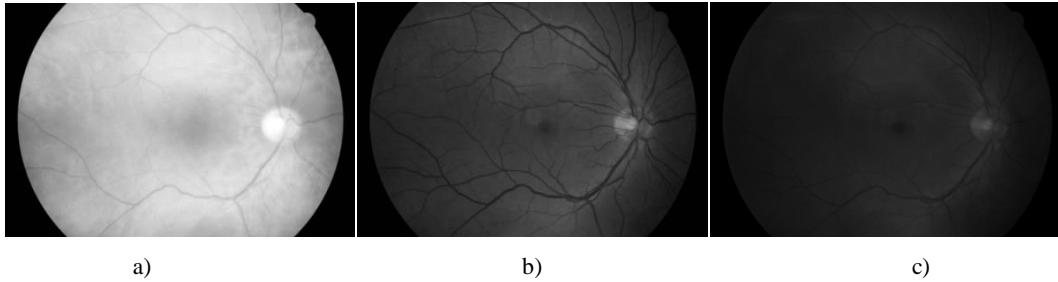


a)

c)

Obr. 3: Snímek zadní části sítnice (retiny): a) barevný snímek; b) zelený kanál

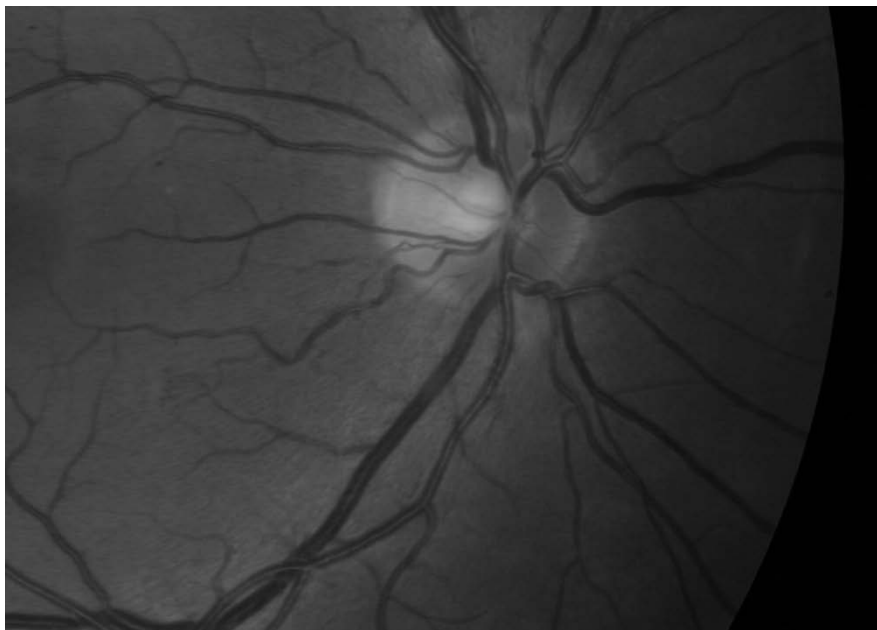
Každý snímek v databázi je uložen v RGB kódování - obraz se skládá ze tří barevných kanálů. Obsah informací obsažených v jednotlivých kanálech je uveden na Obr. 4. Již na první pohled je patrné, že nejvíce diagnosticky cenných informací obsahuje zelený kanál - cévy mají vůči pozadí dostatečný rozdíl kontrastu, optický disk je na první pohled také dobře lokalizovatelný. Pro segmentaci cévního řečiště manuální i automatickou metodou jsou proto použity snímky obsahující pouze zelený obrazový kanál [15].



Obr. 4: Barevné kanály snímku z databáze ÚBMI: a) červený kanál; b) zelený kanál; c) modrý kanál

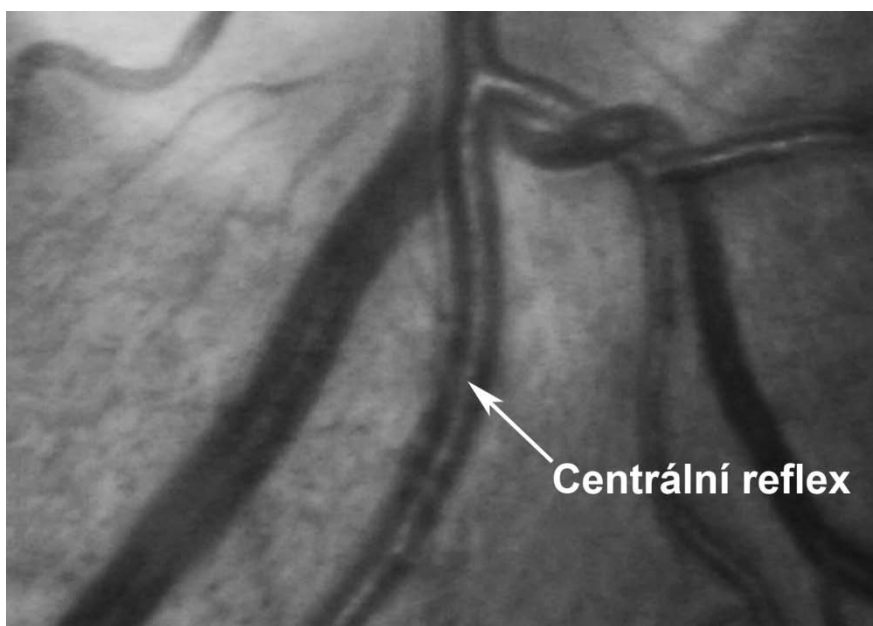
2.3. Vlastnosti cévních struktur na fotografii sítnice

Vzhledem k vlastnostem obrazu popsaným v předchozí kapitole, budeme pro popis vlastností cév na fotografiích sítnice používat snímky obsahující pouze zelený kanál (složku) RGB obrazu.



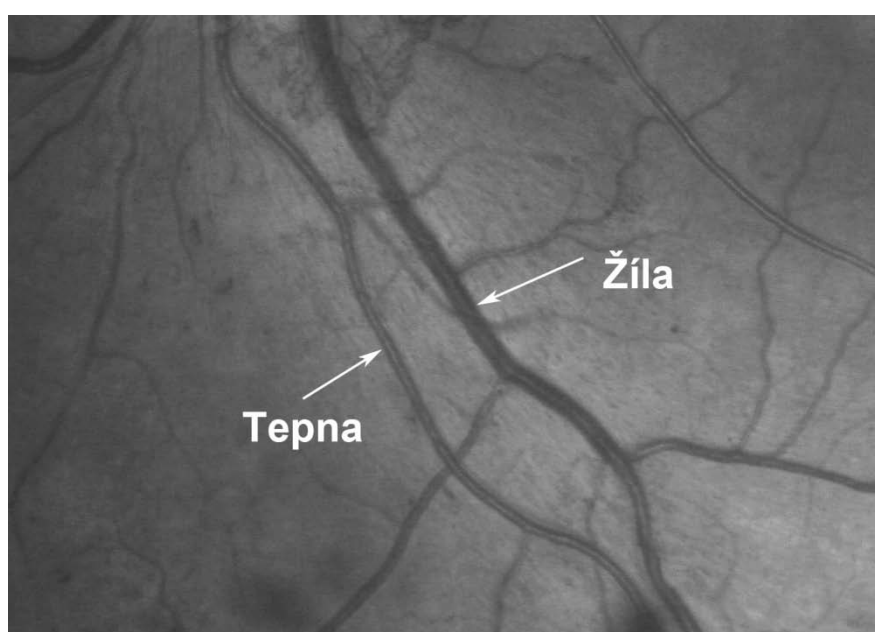
Obr. 5: Průběh zásobovacích cév a optický disk v zelené složce RGB obrazu

Cévy vycházející z optického disku se se vzdáleností od optického disku postupně zužují, viz Obr. 5. Některé, zejména širší, cévy obsahují ve svém středu tzv. centrální reflex, jehož projevem je světlý proužek uvnitř cévy. Centrální reflex je zobrazen na Obr. 6.



Obr. 6: Detail cévy s centrálním reflexem

Cévní struktury jsou z anatomického hlediska rozděleny na tenčí tepny a tlustší žíly. Tepny jsou světlejší a tenčí, žíly jsou tmavší a tlustší. K diagnostice kardiovaskulárních chorob je většinou zaveden poměr šířek tepna/žíla, tento poměr dosahuje u zdravých jedinců je tento poměr 2:3 [29]. Příklad ilustrující rozdíl mezi tepnou a žílou je uveden na Obr. 7 [15].



Obr. 7: Druhy cév na snímcích sítnice

3. Metody segmentace cévního řečiště ze snímků sítnice

3.1. Segmentace obrazu

Segmentace obrazu zasahuje do řady aplikací zpracovávajících obrazová data. Existuje mnoho propracovaných metod segmentace obrazu. Mnoho metod zpracovávajících obrazová data je ve fázi experimentálního vývoje a jejich nasazení do praxe se dočkáme v až následujících letech. Segmentaci obrazu z retinálních snímků lze využít např. při segmentaci cévního řečiště, detekci nervových vláken, ale také například při tvorbě umělých inteligencí.

Přístupem ke zpracování obrazových dat, můžeme metody segmentace obrazu rozdělit do několika kategorií. Tyto metody jsou popsány dále v tomto textu. Každá metoda zpracování obrazu vyžaduje specifický formát vstupních dat (některé metody zpracovávají RGB obraz ve všech obrazových kanálech, jiné vyžadují obraz pouze z jednoho kanálu nebo pouze obraz v binárních barvách). Všechny mají jako výstup obraz, který rozdělí vstupní data na objekty a pozadí. V kapitole 3.2 je nastíněn princip automatických metod segmentace cévního řečiště.

Jedna z možností segmentace obrazu je na základě předem zvoleného prahu s využitím vhodně zvoleného **skalárního nebo vektorového parametru** (např. jas, kontrast nebo barva), který optimálně rozdělí vstupní obraz na objekty a pozadí. K této možnosti můžeme přiřadit i metody, které k nastavení prahu využívají parametry jasových histogramů. Více informací k těmto metodám lze nalézt v [26].

Další metody využívají pro segmentaci obrazu **detekce hran**. K nalezení hran mezi pozadím a objektem v obraze se využívá hranových operátorů (masek), např. derivace prvního nebo druhého řádu. Filtrovaný obraz se většinou následně prahuje, pro získání binární prahové distribuce. Více masek a příklady jejich využití lze nalézt v [26].

Regionově orientovaná segmentace je další z metod segmentace obrazu. Využívá slučování, narůstání a dělení oblastí [26]. U metody narůstání oblastí se slučují menší oblasti do větších celků dle kritéria podobnosti. U metody dělení a slučování je obraz nahlíženo jako celek, ten je postupně dělen, případně dle nastavených kritérií opět slučován na menší skupiny.

Segmentace Watershed je metoda, nahlížející na obraz jako na povrchový reliéf. Tento povrch s minimy a maximy můžeme při virtuálně zaplavovat povodní, na hřebenech povrchu se tvoří "hráze", které tvoří hranice segmentů.

Další metody segmentace obrazu mohou být založeny na principech **prohledávání grafů** nebo využití pružných a **aktivních kontur**[26].

3.2. Metody segmentace cévního řečiště

V současné době existuje mnoho publikovaných metod na automatickou segmentaci cévního řečiště, tyto metody můžeme rozdělit dle přístupu na metody založené na: *sledování*, *modelování*, *učení* a *filtrování*.

Metody **založené na sledování** obvykle zmapují centrální linii cév a globálně v obraze vyhledají cévní řečiště dle určitého kritéria [45], [48], [35]. Sledování začíná na malé skupině bodů, získaných pravidlem výběru jasu, a poté pokračuje podmínkou danou sekčním profilem cévy. Tato metody vykazují u zdravých jedinců velmi dobré výsledky, u nemocných jedinců ovšem selhává.

Metody **založené na učení** používají pro určení, zda pixel náleží nebo nenáleží k cévnímu řečišti řízenou klasifikaci s učitelem. Klasifikátor je v tomto případě "trénován" na snímku zlatého standardu, kde jsou ručně označeny pixely patřící do cévního řečiště. Staal a kolektiv navrhli metodu hřebenové segmentace cév spojenou s technikou řízené klasifikace [44]. Metoda extrahuje hřebeny (vrcholy v obraze) teoreticky náležící ke struktuře cévního řečiště. Tyto hřebeny sestavené z primitiv jsou poté tříděny na trénovaném klasifikátoru a hodnoceny na databázi DRIVE [20]. Tato metoda segmentuje cévní řečiště poměrně spolehlivě, existují zde ovšem falešně označené struktury. Tento fakt je dán rozsahem dat, na kterých byla metoda učena. Databáze DRIVE má totiž pro tuto metodu malý rozsah. Jak autor metody uvádí, při učení klasifikátoru na rozsáhlejších databázích, by mělo být teoreticky možné eliminovat množství falešně pozitivních pixelů na minimum. Z dalších prací založených na metodě učení můžeme zmínit například metodu Ricci a Perfetti [42], používající podpurné vektorové zpracování pro přiřazení pixelu k cévnímu řečišti. Nebo metodu Marín a kol [39], používající pro segmentaci 7-mi dimenzionální matici. Tato metoda překonává všechny dosavadní metody segmentace, zejména při použití patologických snímků.

Metody **modelování** používají pro segmentaci model cévního řečiště. Určení parametrů cévního řečiště závisí na zvolené metodě. Metoda Jiang a kol. [37] používá pro segmentaci cévního řečiště víceparametrický model. Segmentace cévního řečiště probíhá u této metody pomocí hypoteticky nastavených prahových hodnot. Ověření správnosti segmentace se provádí procedurou, navrženou dle objektů, na které je metoda zaměřena – v tomto případě cévních struktur. Nedávno zveřejněná nová metoda Delibasis a kol. [47], určená pro segmentaci cévního řečiště a určení směru cévy je na rozhraní metod sledování a učení. Z každého typu metod využívá část principů. Tento model předpokládá různě rozmístěné komplexy retinálních cév. V metodě je použit automatický algoritmus sledování. Tento algoritmus naznačí cévní řečiště a hledá v něm rozvětvení. Zároveň s tímto algoritmem je použit také algoritmus pro určení průměru cévy. Metoda používá pro co nejvyšší přesnost při hledání cévy tréninkovou část databáze DRIVE. Následně je ověřena na testovací části databáze DRIVE. Tato metoda byla porovnána s dalšími šesti metodami a dosáhla lepších nebo srovnatelných výsledků jako tři z nich. Mezi další metody, založené na modelování, patří metody Lam a kol., nebo Zhu a kol. Více o těchto metodách lze nalézt v [38], popřípadě v [27].

Poslední, v této práci popisovanou skupinou metod, jsou metody **filtrační**. Tyto metody jsou velmi dobře popsány a na jejich téma existuje mnoho prací, můžeme zmínit například [40] nebo [32]. Znalost základních cévních struktur je u těchto metod použita pro sestavení masky, která je posléze použita pro oddělení cévních

struktur od pozadí. Zana a Klain vytvořili algoritmus, který kombinuje pro segmentaci cévního řečiště morfologické filtry a hodnocení specifického tvaru cévní struktury. Ve svém algoritmu používají matematickou morfologii pro zvýraznění cév, tato metoda zohledňuje i morfologické vlastnosti cévních struktur. Z dalších prací věnovaných filtračním metodám můžeme zmínit například [41] nebo [43].

Metoda víceúrovňové segmentace cévního řečiště na fundus snímcích sítnice [28] využívá rychlý algoritmus pro segmentaci cévního řečiště na fundus snímcích sítnice. Metoda nejprve z obrazu vygeneruje 3 (0-2) úrovní Gaussovu pyramidu, kde každá úroveň má poloviční šířku a výšku předchozí úrovně. Výstupem jsou tři obrazy ve stupních šedi, jejichž pixely vyjadřují pravděpodobnost, že daný pixel patří k cévnímu řečišti. Více o generování pyramidy lze nalézt v [28]. Poté se na každou úroveň pyramidy aplikuje analýza sousedů pro zvýraznění rozdílů průměrů mezi cévami. Počítají se Hessianovy matice 2×2 vyjadřující minimální a maximální hodnotu sousedů. Výstupní hodnota v matici je poté dána rovnicí 1 [28]:

$$P_{vessel} = 1 - \frac{a_l}{a_h} \quad (1)$$

kde a_l je nejnižší hodnota okolí, a_h je nejvyšší hodnota v okolí. V homogenních oblastech jsou hodnoty blízké 1. Toto způsobí vyšší hodnotu pixelu a ostřejší obraz. Všechny obrazy jsou poté převzorkovány do velikosti původního obrazu a převedeny na binární barvy použitím hysterezního prahování s limity nastavenými na 85 % a 93 %. Finální obraz segmentovaného řečiště je sloučen ze všech obrazů s použitím logického operátoru OR. Tato metoda dosahuje ve srovnání s jinými metodami a ručně segmentovanými daty konkurenční přesnost při snížení potřebného výpočetního výkonu. Metoda tedy přesně a spolehlivě detekuje cévní řečiště na databázích s nízkým rozlišením a poskytuje výsledky pro kvantitativní analýzu retinálních snímků.

Metoda segmentace cévního řečiště automatickou metodou s využitím přizpůsobených filtrů, která je v této práci hodnocena, je založena na principu „matchfiltering“, dále jen MF. Princip této metody je popsán níže v této kapitole. Další metody používající MF jsou například metoda Hoover a kol. [36] nebo metoda Zhang a kol. [46].

Princip segmentace cévního řečiště automatickou metodou s využitím přizpůsobených filtrů

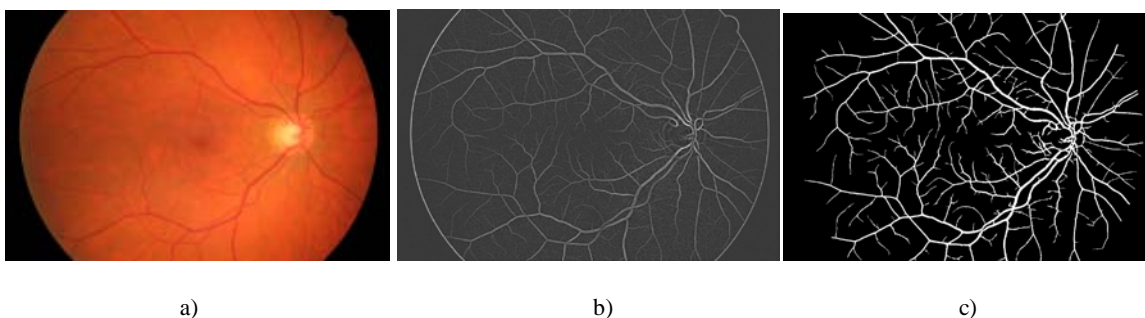
Tato metoda byla vytvořena [15] a testována na databázi DRIVE s nízkým rozlišením, kde generovala uspokojivé výsledky. Následně byla tato metoda testována na databázi HRF a na dostupných výsledcích (45 segmentovaných snímků) segmentace je v této práci hodnocena úspěšnost metody segmentovat cévní řečiště.

Metoda využívá k segmentaci cévního řečiště přizpůsobených filtrů. Jedná se o využití korelace mezi lokálními oblastmi v obraze, teoreticky obsahujícím část cévy a filtrační maskou. Tato filtrační maska je navržena jako aproximace typického segmentu cévy Gaussovou křivkou. Pro filtraci jsou definovány tři 2D matice (filtry), vychází se zde totiž z rozdělení cév dle šířky na tenké, středně široké a široké.

Vstupní data jsou v rozměrech $M \times N \times 3$ (obraz obsahuje tři obrazové složky). K dalšímu zpracování je použita pouze složka G, data jsou tedy pouze $M \times N \times 1$. Důvod tohoto výběru je zřejmý také na Obr. 4.

Obrazová data jsou postupně konvolována natáčenými filtračními maskami, krok natáčení je volen po 15° od 0° do 165° , získáme tedy 12 parametrických obrazů. Z těchto dílčích odezvy je poté vytvořena jedna celková, představující maximální odezvy z jednotlivých směrů na úrovni pixelů. Tímto způsobem získáme 3 parametrické obrazy, na nichž jsou případné cévní struktury subjektivně rozpoznatelné. Je zde vyobrazena přítomnost lokálního cévního segmentu a jeho orientace.

Každý z obrazů odpovídá jedné šířce cév, tento obraz je ovšem nutné prahovat. K tomuto účelu je využit algoritmus využívající k nalezení prahu lokální entropie vypočtené z co-occurrence matice, více o tomto výpočtu je uvedeno v [15]. Výstup prahování je dán binární reprezentací dílčích parametrických obrazů pro jednotlivé šířky cév. Jejich součtem je vytvořena hrubá binární reprezentace, cévy jsou zde reprezentovány hodnotou "1", pozadí hodnotou "0". Výsledný obraz ovšem obsahuje, zejména u tenkých cév, přerušené segmenty, je tedy nutné aplikovat algoritmus, který tyto chybějící úseky doplní, tento algoritmus je blíže popsán v [15]. V posledním kroku je obraz vyčištěn od nespojitých artefaktů vzniklých obrazovým šumem, které nejsou součástí cévního řečiště. Na Obr. 8 jsou uvedeny příklady výstupů jednotlivých etap metody [15].



Obr. 8: Výstupy z etap zpracování : a) originální obraz; b) parametrický obraz tenkých cév; c) konečný výstup metody [15]

Obě výše uvedené metody byly hodnoceny pouze s využitím databází s nízkým rozlišením, pro vyšší kvalitu hodnocení metod, byla navržena nová databáze zlatých standardů HRF (HighResolution Fundus Image Database), popsána v kapitole 4.2.

4. Databáze zlatých standardů pro účely vyhodnocení segmentačních metod

4.1. Zlatý standard a jeho využití

Metoda zlatého standardu ve zdravotnictví je procedura, při níž se jednoznačně potvrdí, nebo vyvrátí přítomnost nemoci [9]. Zlatý standard lze také definovat jako: nejlepší nebo nejúspěšnější diagnostická nebo terapeutická metoda pro dané onemocnění, vůči které jsou porovnávány nové testy a výsledky metod [17].

Zlaté standardy se využívají při hodnocení úspěšnosti detekce onemocnění, úspěšnosti léčby, atd. Tento test je obvykle dražší a riskantnější. Naproti tomu jsou data získaná z testu zlatého standardu - index testu správná a lze k nim tedy vztahovat jiné, levnější a méně rizikové metody. Index test se obvykle testuje na menších populacích. I přes případné náklady, spojené s index testem, by měl být index test testován na dostatečně velké populaci, aby se odhalil případný sklon detekovat nemoc pouze u jistého typu pacienta (např. sekundární stádium nemoci, kdy je nemoc již dobře detekovatelná) [9]. Obecně řečeno, zlatého standardu se využívá k porovnání účinnosti diagnostiky, případně léčby, jistého druhu onemocnění.

V této práci je zlatého standardu použito k porovnávání výsledků získaných z automatických metod segmentace cévního řečiště. K porovnávání výsledku a zlatého standardu je nutné vytvořit aplikaci, která provede porovnání a následně vyhodnotí úspěšnost segmentace cévního řečiště vzhledem ke zlatému standardu. Výpočty, které tato aplikace provádí, i princip její funkce jsou popsány v kapitole 5.

4.2. Databáze zlatých standardů

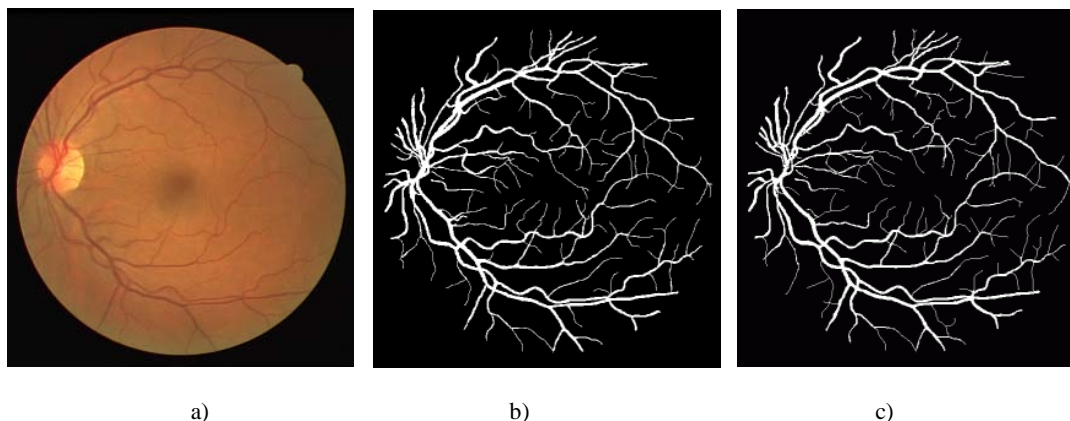
Neexistují univerzální zlaté standardy, pro každou oblast hodnocení je třeba vytvořit novou databázi, např. pro hodnocení metod segmentace cévního řečiště je nutné mít databázi manuálně segmentovaných dat. Jiný příklad můžeme uvést jako limitní hodnoty návykových látek v těle při krevních rozborech [49]. Tato práce se však zabývá pouze databázemi zlatých standardů segmentovaného cévního řečiště z retinálních snímků.

Databáze DRIVE

Databáze drive (Digital Retinal Images for Vessel Extraction) byla v roce 2004 zřízena [19] pro podporu výzkumu a studií segmentace cévního řečiště na retinálních snímcích. Na snímcích je možné testovat úspěšnosti metod segmentace cévního řečiště a přes internetové stránky [20] je možné tyto výsledky také zveřejnit.

Snímky v databázi byly pořízeny digitální fundus kamerou Canon CR5 s 3CCD čipem a 45° FOV (Field of View). Snímky jsou uloženy ve standardu JPEG s 8 bitovou barevnou hloubkou a rozlišením 768 x 584 obrazových bodů. Každý obrázek FOV (Field of View) o kruhovém průměru přibližně 540 obrazových bodů, každý obrázek v databázi byl oříznut maskou podle FOV (Field of View).

Obsah databáze je rozdělena do dvou částí - tréninková a testovací, každá z těchto částí obsahuje 20 snímků. Tréninková část obsahuje pro každý snímek jeden manuálně segmentovaný snímek cévního řečiště, testovací část má ke každému snímku dva manuálně segmentované snímky od dvou nezávislých, trénovaných oftalmologů. Obr. 19 ilustruje příklad RGB snímků z databáze DRIVE [20].

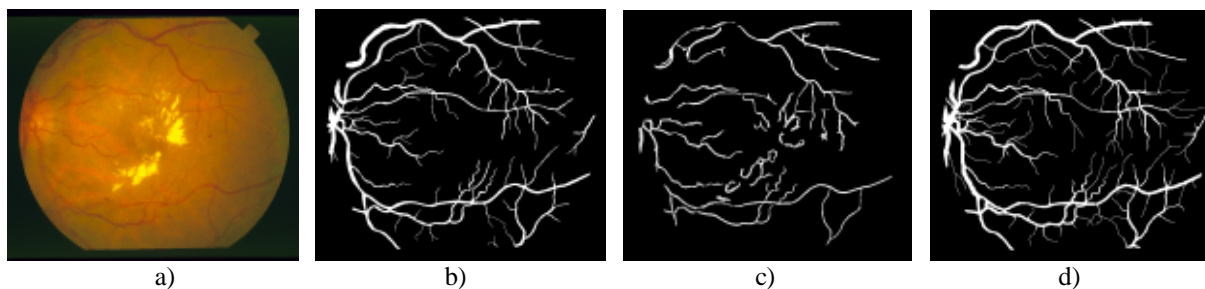


Obr. 9 : Snímek z databáze Drive: a) originální obraz; b) 1. manuálně segmentovaný obraz; c) 2. manuálně segmentovaný obraz [20]

Projekt STARE

Projekt STARE (S**TR**uctured Analysis of the Retina) byl zahájen v roce 1975 doktorem Michaelem Goldbaumem na kalifornské universitě. Od založení se na projektu podílelo více než 30 výzkumníků, od lékařů po inženýry. Data byla získána z Shiley Eye Center na University of California, San Diego a Veterans Administration Medical Center v San Diegu. Zajímavá část projektu STARE je výzkum věnující se lokalizaci optického disku za použití fuzzy konvergence cév [50].

Cílem projektu STARE je vytvořit databázi snímků s očními onemocněními a popsat obsah těchto snímků (anatomické struktury, léze, atd.). Tento fakt umožňuje sledování vývoje případných degenerací v čase a následně navrhnout možnou diagnózu. Snímky v databázi mohou následně zjednodušit diagnózu onemocnění. Projekt STARE se snaží vytvořit automatickou možnost diagnostiky onemocnění očního aparátu. Systém zpracovávající obraz je naprogramován tak, aby se choval jako skutečný oční lékař a dosáhl podobného diagnostického závěru. Tato diagnostika je rozdělena na dvě části. První částí je automatické zpracování vstupního obrazu, druhá část se zabývá automatickou úvahou a následným návrhem diagnózy, podrobný princip zpracování informací a následného návrhu diagnózy lze nalézt na [23]. Protože návrh diagnózy vyžaduje velký rozsah informací, neobsahuje projekt STARE pouze informace potřebné k samotnému návrhu diagnózy, ale také např. projekty zabývající se segmentací cévního řečiště automatizovanou metodou [24] nebo lokalizací optického disku [25]. Na Obr. 10 je zobrazen příklad snímků obsažených v databázi projektu STARE [24].



Obr. 10: Příklad snímku z projektu STARE a) snímek cévního řečiště; b) oftalmologem manuálně segmentované cévní řečiště; c) oftalmologem manuálně segmentované cévní řečiště; d) automaticky segmentované scévní řečiště [24]

Projekt STARE sbírá data z měření mnoha pacientů (aktuální projekty lze nalézt na [22]) a mnoha různých projektů, lze tedy usuzovat, že navržená diagnóza bude vzhledem k velkému množství dat a lékařů "podílejících" se na výsledném návrhu diagnózy správná. Tímto může tento projekt významně podpořit rozvoj automatické diagnostiky onemocnění [22].

Databáze HRF (HighResolution Fundus Image Database)

Nevýhoda všech databází uvedených v předchozích kapitolách spočívá v nízkém rozlišení snímků zlatých standardů v databázi. Pro testování tak není dostupná databáze obsahující detailní obrazové struktury (tenká cévní zakončení, atd.). V případě použití databáze s nízkým rozlišením, může metoda poskytovat kvalitní výsledky v porovnání se zlatým standardem, ovšem ignoruje detaily ve snímku.

Neexistence databáze zlatých standardů segmentovaného cévního řečiště ve vysokém rozlišení vedla ke vzniku nové databáze HRF, která tyto podmínky splňuje. Výhodou této databáze je jednak opravdu velké rozlišení (8 Mpx), a tedy zachování dostatečných rozlišovacích schopností bez nutnosti následné změny velikosti obrazu, a také fakt, že obsahuje snímky zdravých i nemocných pacientů. Rozdělení databáze je uvedeno v Tab. 2. Další výhodou HRF, je mnohem větší množství obrazové informace, konce cév a tenké cévy jsou tedy mnohem lépe rozlišitelné. Díky vysokému rozlišení snímků lze detekovat případné léze v obraze včas a zahájit jejich léčbu. Výsledky metody, konstruované a testované na databázi s nízkým rozlišením a testované na HRF databázi jsou uvedeny v diskuzi.

Při vytváření databáze byl pro správnost segmentace celého cévního řečiště u vytvářených zlatých standardů zvolen způsob segmentace cévního řečiště ruční metodou. Z důvodu zmíněného v kapitole 2.2, cévní řečiště bylo segmentováno z obrazu obsahujícím pouze zelenou složku. Zlaté standardy byly při ruční segmentaci otevřeny v grafickém programu Adobe Photoshop CS4, kde byl upraven jas a kontrast obrazu pro co nejlepší zobrazení cévního řečiště, následně byla do obrazu vložena nová vrstva a do této vrstvy bylo pomocí tužky s různou tloušťkou obkresleno cévní řečiště. Jedná se o časově velmi náročný proces, ovšem získaný zlatý standard má poté velmi dobrou kvalitu.

Každý snímek zlatého standardu má rozlišení 3504 x 2336 obrazových bodů, to je několikanásobně více, než má například databáze DRIVE. Snímek je uložen v binárním zobrazení (bíle je označeno cévní řečiště, pozadí snímku je černé). Toto barevné provedení je vhodné zejména pro následné programové zpracování a hodnocení úspěšnosti detekce cévního řečiště. HRF databáze obsahuje v současné době 48 snímků, jak

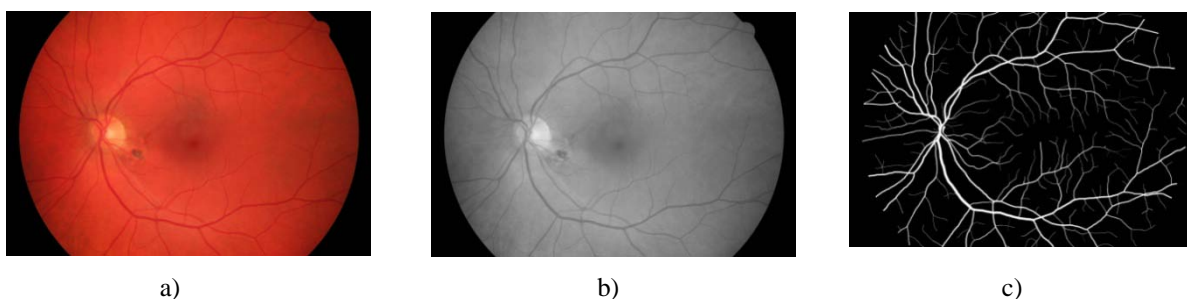
zdravých jedinců, tak jedinců s diabetickou retinopatií a glaukomem. Rozdělení snímků v HRF databázi je uvedeno v Tab. 2.

Tab. 2: Rozdělení snímků v nové databázi

Skupina	Počet snímků
Zdravé oči	15
Diabetická retinopatie	15
Glaukom	18
Celkem	48

Vyšší kvality hodnocení metody lze dosáhnout porovnáním výsledků metody s více než jednou sadou zlatých standardů. V současné době obsahuje HRF databáze pouze jednu sadu snímků zlatých standardů. V budoucnosti se předpokládá rozšíření na dvě sady zlatých standardů. Důvod, proč by měly být dva zlaté standardy je ten, že i když segmentaci provádí zkušený odborník, rozhoduje o označení konkrétní bodu cévního řečiště subjektivně a zejména u tenkých cévek, případně v nekvalitně zhotovených obrazech, se může zmýlit. Na rozdílném označení cévního řečiště ve zlatém standardu se také v nemalé míře může projevit kvalita a barevné nastavení monitoru, na němž je segmentace prováděna. Cévní řečiště bude ve druhé sadě zlatých standardů s největší pravděpodobností označeno odlišně než v první sadě. Průměrováním výsledků hodnocení z obou těchto sad dosáhneme lepších výsledků.

Stejně jako databáze DRIVE, obsahuje i databáze HRF masku ke každému snímku zlatého standardu. Tato maska ve snímku vymezuje FOV (Field of View) a určuje tak část snímku, která obsahuje důležité informace. Použití masky je při testování metody doporučeno. Maska je uložena v binárním barevném provedení a má stejné rozlišení jako snímky v databázi. FOV (Field of View) je reprezentováno bílou barvou, pozadí mimo FOV (Field of View) je černé. Na Obr. 11 je zobrazen příklad snímku z databáze HRF, jeho zelený obrazový kanál a zlatý standard k tomuto snímku.



Obr. 11: Příklad snímku diabetické retinopatie z databáze HRF a) snímek z databáze ÚBMI; b) zelená složka snímku a; c) zlatý standard ke snímku a)

Pro uživatele je na odkaze [33] uložena databáze rozdělená do tří částí, jako je uvedeno v Tab. 2. Každá část obsahuje originální barevné snímky, dále jednu sadu zlatých standardů uložených v JPG a BMP formátu a sadu masek pro snímky z databáze. Masky jsou ve formátech JPG a TIF.

5. Aplikace pro hodnocení automatických metod segmentace cévního řečiště

5.1. Kritéria hodnocení

Před samotným návrhem programu (aplikace), je vhodné si určit, pomocí jakých kritérií se bude hodnocení provádět. Tyto kritéria tvoří základ programu umožňující vyhodnotit spolehlivost testované metody.

Pro správnou orientaci je vhodné definovat následující pojmy:

- *správně detekovaný bílý pixel (TP)*: bílý pixel byl očekáván a detekován
- *špatně detekovaný bílý pixel (FP)*: byl očekáván černý pixel, ale detekován byl bílý
- *správně detekovaný černý pixel (TN)*: černý pixel byl očekáván a detekován
- *špatně detekovaný černý pixel (FN)*: byl očekáván bílý pixel, ale detekován byl černý

Při hodnocení se počítají z počtu správně, případně špatně označených pixelů *sensitivita*, *specifická* a *přesnost*. Na následujících stranách jsou uvedeny vzorce pro tyto výpočty.

Sensitivita

Sensitivita, neboli *TPR* (True Positive Rate), je popsána jako míra pravdivé pozitivivity. Lze uvést příklad: je pravděpodobnost, že bílý pixel má patřit do cévního řečiště. Sensitivitu můžeme vyjádřit rovnicí [8]:

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

Specifická

Specificku, možno též *TNR* (True Negative Rate), můžeme popsat jako míru pravdivé negativity, neboli pravděpodobnost, že černý pixel má patřit do pozadí. Můžeme ji popsat rovnicí [8]:

$$TNR = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3)$$

Přesnost měření (accuracy)

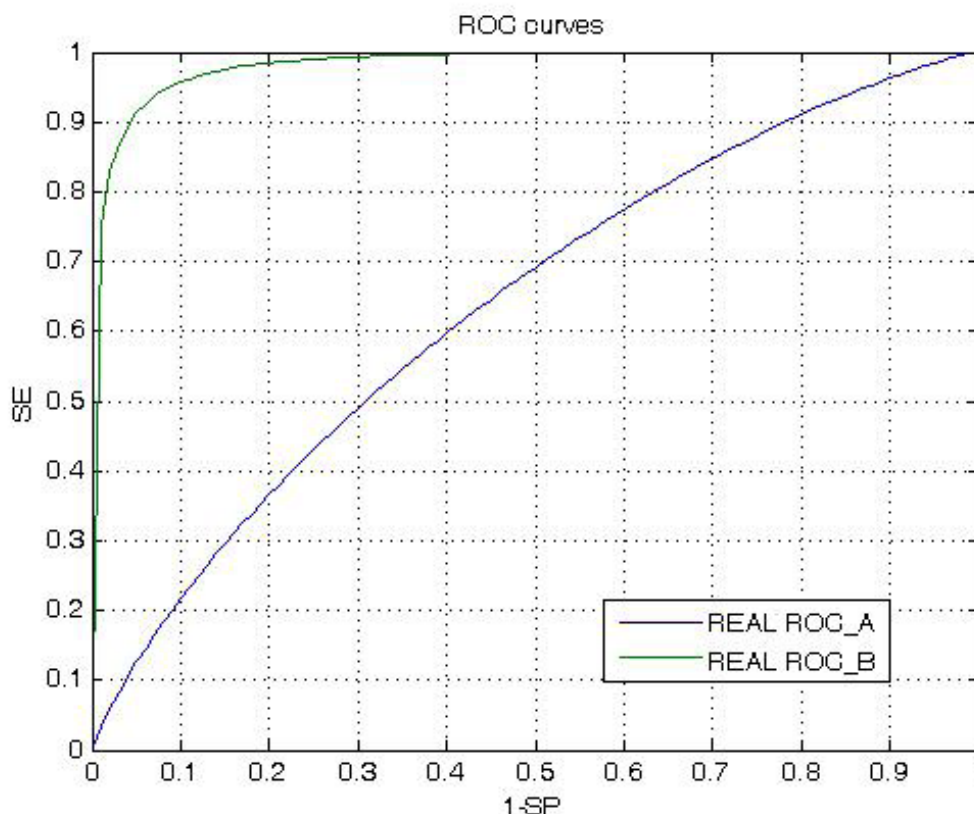
Je dána jako odchylka od skutečné hodnoty měřené veličiny. Vypočte se dle vztahu 4[16]:

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} \quad (4)$$

Čím bližší je přesnost měření hodnotě 1, resp. 100%, tím více je měření přesnější a naopak. Přesnost měření závisí na použitém algoritmu měření a jeho přesnosti a schopnosti udávat (počítat) správné hodnoty.

ROC křivka

V ROC křivce, neboli Receiver Operating Characteristic, je vynášena sensitivita (TPR) jako závislost na falešné pozitivitě (100-specificita) pro měnící se zvolený parametr. Každý bod křivky reprezentuje pár sensitivita/specificita a odpovídá konkrétní hodnotě zvoleného parametru. Test s dokonalou diskriminací (hodnoty v distribučním grafu se nepřekrývají) má křivku procházející levým horním rohem (100% sensitivita i specificita). Příklad ROC křivky je uveden na Obr.12. Čím více se křivka blíží levému hornímu rohu tím, větší je celková přesnost testu. Detailnější informace o hodnocení metod pomocí ROC křivky lze nalézt např. v [10], [11].



Obr. 12: Příklad reálné ROC křivky [12].

Parametr, který vyjadřuje schopnost metody dosáhnout správných výsledků, se nazývá AUC (Area Under the Curve), intervaly a jim odpovídající kvalitu testu udává Tab. 3. AUC lze také prezentovat jako pravděpodobnost správného zařazení prvku vybraného z jedné ze dvou populací. Výpočet AUC je možné provést pomocí neparametrické Wilcoxonovy statistiky, případně pomocí integrálního výpočtu [14].

Tab. 3: Tabulka intervalů AUC a odpovídajících kvalit testu [14]

Interval hodnot AUC	Kvalita testu
<0,5;0,75>	použitelný
<0,75;0,92>	dobry
<0,92;0,97>	velmi dobry
<0,97;1,00>	vynikající

Pro správné hodnocení testu je vhodné uvažovat mimo sensitivitu a specificku také kritérium nastavení - prahovou hodnotu distribuční křivky dat, tj. hranici nastavení distribuční křivky, která rozděluje distribuční křivku na TP, TN, FP, FN. Tato hranice se určuje s ohledem na rizikovost testu, nebo případné riziko pro falešně negativního pacienta. Např.: bude-li nemoc velmi nebezpečná, pak je vhodné, aby riziko FN pacientů bylo co nejnižší=>test bude více sensitivní, ale méně specifický. U rizikového testu bude postup přesně opačný a FP pacientů budeme chtít dostat co nejméně, test bude méně sensitivní a více specifický [9].

ROC křivka je zde uvedena pouze jako jedno z možných kritérií hodnocení metod segmentace cévního řečiště. Není do programu zařazena, jelikož k jejímu sestrojení je třeba mít několik opakovaných výsledků metod segmentace cévního řečiště na různých snímcích. Pro testovanou metodu je ovšem dostupná pouze jedna sada výsledků.

5.2. Návrh aplikace

Při návrhu aplikace se vycházelo z požadavků jednoduché, rychlé a snadno dostupné možnosti hodnotit výsledky segmentace, proto byla zvolena online verze. Ke spuštění aplikace postačuje internetový prohlížeč. Aplikace je umístěna na odkaze:

<http://projects.ubmi.feec.vutbr.cz/ophthalmo/vessel/>

Aplikace porovnává každý bod binární obrazové matice zlatého standardu a výsledku metody. Pokud jsou oba body rovny "1", je bod označen jako správně pozitivní, pokud jsou oba body rovny "0", je bod označen jako správně negativní, atd. Aplikace poté z hodnot TP, FP, TN, FN počítá kritéria uvedená v kapitole 5.1. Část aplikace, provádějící porovnávání bodů je zobrazena na Obr. 13. Jako vstupní data aplikace musí být tedy snímky obsahující pouze černou a bílou barvu. Černá barva pro pozadí, bílá barva pro cévní řečiště. Aplikace sice předpokládá chybu uživatele, a umožňuje hodnotit i body jiných barev než jen bílých. Pozadí musí být vždy v černé barvě.

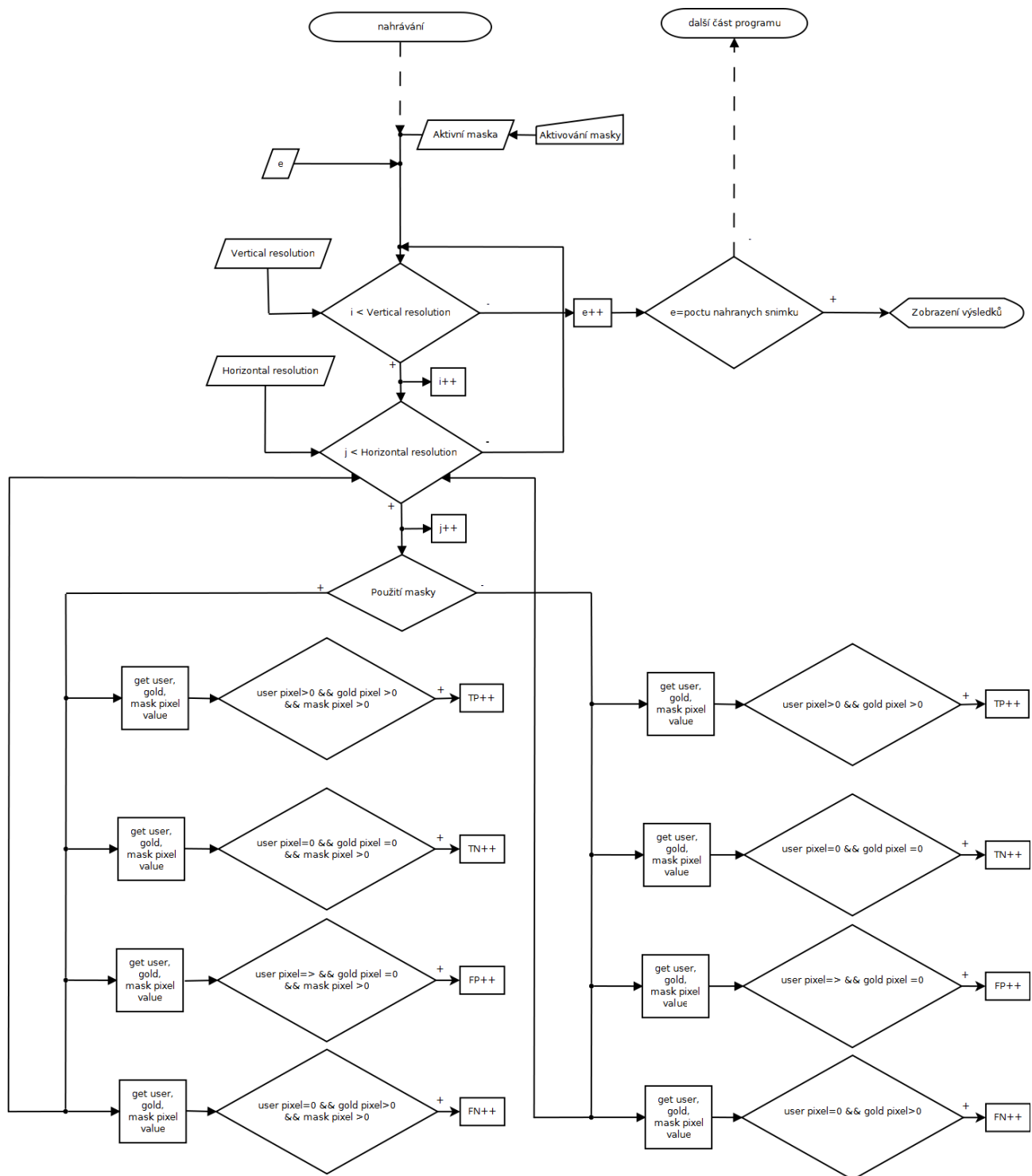
Protože je aplikace umístěna na serveru, bylo nutné zahrnout do aplikace možnost nahrávat výsledky segmentace z počítače uživatele a následně výsledky také uložit. Vstupní obrazové formáty byly zvoleny JPG, JPEG a PNG, na tyto formáty je nastaven filtr při vybírání souborů pro nahrání. Jako formáty pro uložení byl zvolen formát HTML, jehož výhodou je možnost spustit jej v internetovém prohlížeči a formát XML, který lze jednoduše zpracovat v dalších aplikacích, případně uložit do vybrané databáze.

Vzhledem k možným chybám vzniklým při hodnocení určitých částí obrazu (např. oblast optického disku), byla do aplikace zahrnuta možnost dodatečných úprav. Tyto úpravy umožňují uživateli zvolit v nahraném obraze až tři obdélníkové oblasti, jejichž body nebudou do výpočtů zahrnuty. Oblasti lze umístit kamkoliv v obraze a nastavit jim výšku a šířku. Pro každý snímek lze nastavit jiné umístění, velikost i počet aktivních oblastí. Všechny úpravy je nutné uložit. Při dodatečných úpravách lze kdykoliv spustit hodnocení.

Během hodnocení zobrazuje aplikace aktuální hodnocený snímek i zlatý standard, případně masku, pokud ji chce uživatel použít. Masku v obraze definuje FOV (Field of View) a tím určuje body ve snímku, které jsou při aplikaci použity. Bez použití masky detekuje aplikace i body, které jsou mimo FOV (Field of

View). Ty jsou označeny černě, protože pozadí celého snímku je černé, FOV (Field of View) je ovšem pouze kruhová oblast. Rozdíl v těchto hodnotách uměle zvyšuje sensitivitu a specificitu. Metoda pak vypadá přesněji, i když ve skutečnosti není. Tento rozdíl může být i několik procent. Proto se doporučuje používání masky.

Po výpočtech aplikace zobrazí výsledky v tabulce a spočítá pro každý sloupec průměrné hodnoty, které zobrazí do posledního řádku tabulky. Lze také zobrazit detailní informace o každé dvojici snímků (zlatý standard/uživatelský snímek).



Obr. 13: Část vývojového diagramu aplikace

5.3. Implementace aplikace

Aplikace byla vytvořena v programu Adobe Flash CS4 Professional. Pro správnou funkci je nutné mít nainstalový Flash Player 10.3. nebo vyšší. Realizace byla provedena v programovacím jazyce Action Script ve verzi 3.0.

Aplikace načítá adresy zlatých standardů z adres umístěných v XML souboru na severu. Lze tedy jednoduše přidávat nebo ubírat snímky, bez nutnosti zasahovat do zdrojového kódu. Taktéž lze do adres zadat absolutní adresy a umístit celou databázi na jiný server. XML soubor musí být ovšem vždy umístěn v adresáři _XML na stejné úrovni, jako je umístěna aplikace.

Protože je databáze rozdělena na tři části, musí uživatel zvolit na hlavní obrazovce typ snímků, na nichž testoval svou metodu. Bez tohoto údaje nelze pokračovat dále v aplikaci. Další z nutných údajů je název souboru – je tedy nutné nahrát alespoň jeden soubor, poté aplikace umožní přejít k dalšímu kroku, nebo rovnou spustit hodnocení.

Pro upload souborů na server používá aplikace třídu FileReferencList a příkaz Load, která nahraje vybrané soubory na server, kde je umístěn PHP skript, který soubory přemístí do definované složky. Důležité je, aby název nahrávaného výsledku metody začínal prvními dvěma znaky souboru použitého k testování. Aplikace používá první znaky ve jméně souboru pro přiřazení uživatelových snímků ke zlatým standardům.

Na Obr. 14 je uvedena část kódu nahrávající uživatelem zvolené soubory. Funkce browse_box otevře okno pro výběr souborů. Po jejich otevření se spustí funkce variables, která provede zjištění počtu zvolených souborů a spustí načítání prvního souboru. Během načítání je zobrazen postup a název snímku, který je nahráván. Po načtení snímku se zavolá funkce complete_handler, která zjistí počet načtených souborů. Pokud je načten i poslední soubor, spustí další proces, jinak se spustí načítání dalšího souboru.

```
function browse_box(event:MouseEvent):void { // funkce po kliknutí tlačítka, ma jako vstupni parametr
    file_ref.browse([image_types]); // otevře okno pro vyber obrazku k nahrani, pouzije filtr image_types
}
function variables(event:Event):void {
    skov.visible = false;
    l = file_ref.fileList.length; // priradi promenne l seznam z objektu FileReferenceList
    uploaded_user_images_unsorted[k] = file_ref.fileList[k].name; // priradi na pozici k jmeno z objektu FileReferenceList
    var vari:URLVariables = new URLVariables(); // vytvori novou promennou URL
    item = file_ref.fileList[k]; // priradi objektu FileReferene seznam z objektu FileReferenceList
    item.addEventListener(Event.COMPLETE, complete_handler); // vytvori sledovani, kdy bude nahravani kompletne
    item.addEventListener(ProgressEvent.PROGRESS, progress_handler); // vytvori sledovani procesu nahravani
    file_display_txt.text="Now uploading image "+(k+1)+" of "+file_ref.fileList.length; // zobrazi nazev nahavaneho souboru
    vari.todayDate = new Date(); // vytvori promennou obsahuju dnesni datum
    url_request.method = URLRequestMethod.POST; // zvolí metodu POST pro nahravani na server
    url_request.data = vari; // preda promenne do casti dada obsah promenne vari
    browse_btn.enabled = false; // zneaktivni tlačitko
    item.upload(url_request); // nacte dany soubor
}
function complete_handler(event:Event):void {
    k++; // pricte k o jednicku
    skov.visible = true; // skryje objekt
    file_display_txt.text = "Uploading complete"; // Zobrazi text do textoveho pole
    if (k == file_ref.fileList.length) {
        upload_images_first(); // pokud je na poslednim snimku spusti dalsi proces
    } else {
        variables(event); // pokud neni na poslednim snimku spusti znovu tuto funkci
    }
}
```

Obr. 14: Část kódu nahrávající obrázky na server

Hodnocení probíhá ve dvou cyklech „for“, první pro vertikální rozlišení, druhý pro horizontální rozlišení. Takto se projede celý seznam a pomocí podmínky „if“ se porovnává nahraný snímek, snímek z databáze, případně snímek masky. Pokud uživatel provedl také dodatečné úpravy, jsou v této podmínce zohledněny rovněž pozice a velikost uložených oblastí. Po vyhodnocení prvního snímku se přejde buď na další snímek, nebo se zobrazí výsledky. K uložení výsledků se používá opět třída FileRefereList a příkaz Save. Část kódu hodnotící soubory je zobrazena na Obr. 15.

```

for (c=0; c<vertical_resolution; c++) { // for cyklus projizdejší vertikální rozlišení
  for (d=0; d<horizontal_resolution; d++) { // for cyklus projizdejší horizontální rozlišení
    if (mask_image) { // pokud uživatel zvolil použitý masky
      if (gold_image_bmd.getPixel(d,c) > 0 && user_image_bmd.getPixel(d,c) > 0 && mask_image_bmd.getPixel(d,c) > 0) {
        TP++; // pokud je bod ve zlatem standardu bílý, v uzivatelove bílý a v masce bílý, přičte se TP o jednicku
      }
      if (gold_image_bmd.getPixel(d,c) == 0 && user_image_bmd.getPixel(d,c) == 0 && mask_image_bmd.getPixel(d,c) > 0) {
        TN++; // pokud je bod ve zlatem standardu černý, v uzivatelove černý a v masce bílý, přičte se TN o jednicku
      }
      if (gold_image_bmd.getPixel(d,c) == 0 && user_image_bmd.getPixel(d,c) > 0 && mask_image_bmd.getPixel(d,c) > 0) {
        FP++; // pokud je bod ve zlatem standardu černý, v uzivatelove bílý a v masce bílý, přičte se FP o jednicku
      }
      if (gold_image_bmd.getPixel(d,c) > 0 && user_image_bmd.getPixel(d,c) == 0 && mask_image_bmd.getPixel(d,c) > 0) {
        FN++; // pokud je bod ve zlatem standardu bílý, v uzivatelove bílý a v masce černý, přičte se FN o jednicku
      }
    }
    pos++;
  }
}

sensitivity_array[e] = int(TP/(TP+FN)*10000)/100; // do pole sensitivity na pozici e uloží vypočítanou sensitivity prave hodnoceneho snimku
specificity_array[e] = int(TN/(TN+FP)*10000)/100; // do pole specificity na pozici e uloží vypočítanou specificity prave hodnoceneho snimku
accuracy_array[e] = int((TP+TN)/(vertical_resolution*horizontal_resolution)*10000)/100; //do pole sensitivity na pozici e uloží vypočítanou přesnost prave hodnoceneho snimku*/

```

Obr. 15: Část kódu počítající statistiky obrázku

Na Obr. 16 je zobrazena část kódu ukládající výsledky. Funkce save_to_txt vytvoří nejprve tabulku a její záhlaví. Tabulka obsahuje čtyři sloupce - číslo snímku, sensitivity, specificitu a přesnost. Poté se "for" cyklem vytvoří řádky tabulky, do kterých uloží jednotlivé výsledky. Do posledního řádku uloží průměrné hodnoty každého sloupce. Funkce save_to_xml vytvoří objekt XML, do kterého v cyklu "for" vloží výsledky metody. Do posledního elementu jsou vloženy průměrné hodnoty sensitivity, specificity a přesnosti.

```

function save_to_txt(e:MouseEvent):void {
  save_txt_data="<html><table width=250 border=0><tr ><td><b>Img </b></td> //vytvori zahlavi tabulky
  <td><b> SE </b></td><td><b> SP </b></td><td><b> ACC </b></td></tr>"; //naplni radky tabulky vypocetenymi hodnotami
  for (var k:Number = 0; k<uploaded_user_images_unsorted.length; k++) {
    save_txt_data+="<tr><td> "+(k+1)+" </td><td> "+sensitivity_array[k]+" </td><td> "+specificity_array[k]+" </td><td> "
    +accuracy_array[k]+" </td></tr> ";
  }
  save_txt_data+="<tr><td>"+<em><b>Average </b></em>"+</td><td><em><b> "
  +int(sum_sensitivity_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100+ " </b></em></td><td><em><b> "
  +int(sum_specificity_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100+ " </b></em></td><td><em><b> "
  +int(sum_accuracy_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100+ " </b></em></td></tr>"+</table></html>";
  fs.txt.save(save_txt_data,date.getFullYear()+ " "+(date.getMonth()+1)+" "+date.getDate()+ " "+"analysis_results.html");
  //ulozi data do souboru HTML s nazvem obsahujicim dnesni datum
}

function save_to_xml(e:MouseEvent):void {
  var save_xml_data:XML = //vytvori novy objekt xml
  <result>
  </result>
  for (var j:Number = 0; j<uploaded_user_images_unsorted.length; j++) {
    save_xml_data.appendChild(<item><img_number>{j+1}</img_number><SE>{sensitivity_array[j]}</SE><SP>{specificity_array[j]}</SP>
    <ACC>{accuracy_array[j]}</ACC></item>); //pripoji do XML potomka s vypocitanymi hodnotami
  }
  save_xml_data.appendChild(<item><total_images>{uploaded_user_images_unsorted.length}</total_images><SE>{
  int(sum_sensitivity_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100}</SE><SP>{
  int(sum_specificity_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100}</SP><ACC>{
  int(sum_accuracy_array/uploaded_user_images_unsorted.length*100)/100}</ACC></item>);
  //trace(save_xml_data);
  fs.xml.save(save_xml_data,date.getFullYear()+ " "+(date.getMonth()+1)+" "+date.getDate()+ " "+"analysis_results.xml");
  //ulozi data do souboru XML s nazvem obsahujicim dnesni datum
}

```

Obr. 16: Část kódu počítající statistiky obrázku

5.4. Uživatelské prostředí aplikace

V hlavním okně aplikace je popsáno základní ovládání aplikace a kroky nutné k dosažení správných výsledků. Během kteréhokoliv kroku má uživatel možnost v pravém horním rohu zobrazit jednoduchou nápovědu, nebo otevřít kompletní uživatelský manuál.

Níže jsou uvedeny důležité informace, nutné k dosažení korektních výsledků hodnocení. Při nedodržení těchto bodů nemusí být výsledky hodnocení správné.

- **Nahrání souborů** – bez souborů nemá aplikace co hodnotit, nelze postoupit k dalšímu kroku
- **Vybrání typu obrázků** – typ musí být stejný, jako jsou testované nahrané obrázky
- **Obraz musí obsahovat pouze bílé a černé pixely** – tato podmínka je popsána výše, je důležitá pro správnou detekci, zda patří pixel k cévnímu řečišti nebo k pozadí
- **Typ nahrávaného obrázku** – pouze PNG, JPG a JPEG, na tyto formáty je nastaven filtr
- **Velikost obrázků** – je omezena vzhledem ke kapacitě serveru, na 1024 KB
- **Rozlišení nahrávaných obrázků** – ponechejte stejné jako je rozlišení snímků v databázi. V opačném případě bude aplikace počítat s prázdnými pixely a výsledky budou zkreslené.

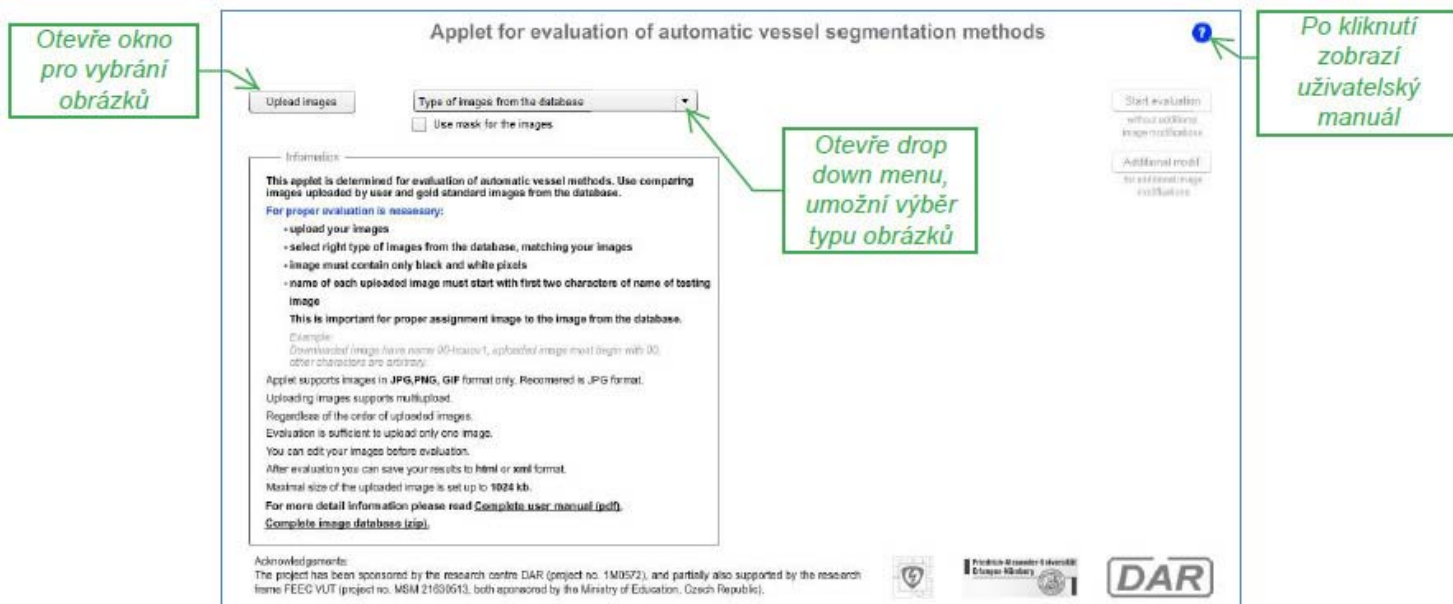
5.5. Stručný návod k aplikaci

Při vybírání obrázků je možné vybrat více obrázků najednou současným držením tlačítka Shift nebo Ctrl a označením souborů. Po otevření souborů začne aplikace nahrávat tyto soubory automaticky. Pokud uživatel zvolí typ obrázků, může spustit analýzu snímků, při níž je automaticky provedeno hodnocení všech načtených snímků a zobrazení výsledků.

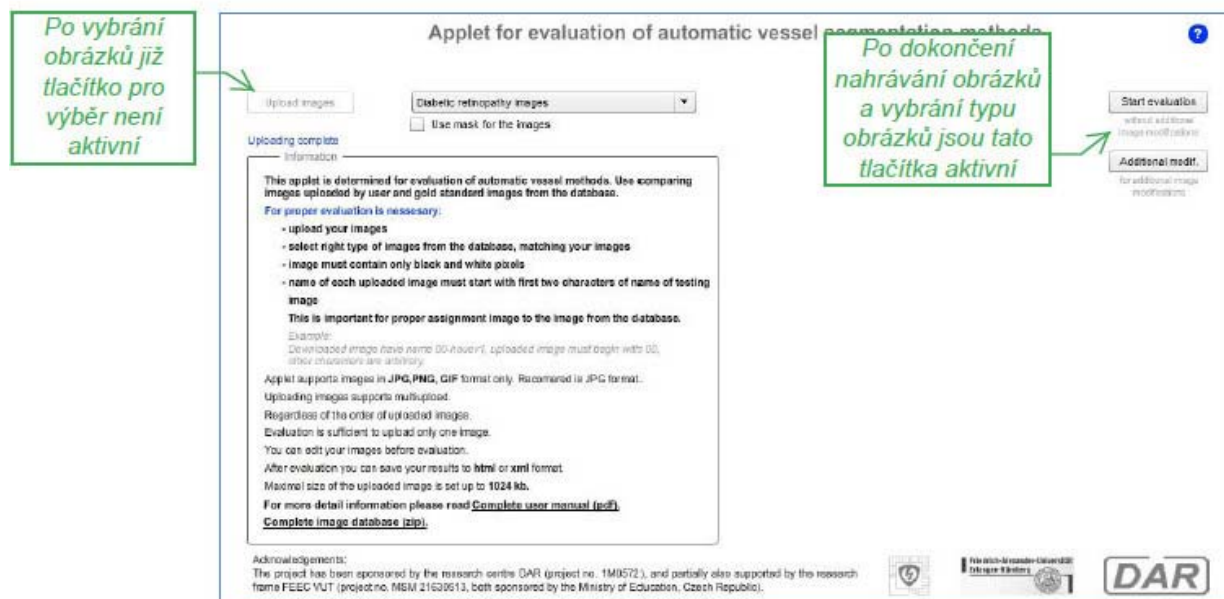
Při volbě dodatečných úprav se zobrazí nahraný snímek ve větší velikosti. Zde je možné aktivovat až 3 oblasti, které vymezí část ve snímku, která nebude započtena při hodnocení, a přemístit je tažením kamkoliv po snímku. Lze také měnit velikost oblastí. Oblasti se mohou překrývat. Po umístění oblastí je třeba úpravy uložit. Po uložení již nelze oblasti znovu měnit. Není nutné upravovat všechny snímky, ale pouze ty, které uživatel uzná za vhodné. Po spuštění analýzy je opět automaticky provedeno hodnocení snímku, se zohledněním uložených oblastí.

Do tabulky výsledků se zobrazí všechny vypočtené hodnoty a na poslední řádek se z nich vypočítá průměr. Každý sloupec lze seřadit, dle něj se pak řadí celá tabulka. Tabulku je možné uložit do HTML i XML formátu. Po kliknutí na tlačítko vedle každého řádu se zobrazí detaily. V detailu je zobrazen zlatý standard i uživatelův obrázek. Dále jsou zde zobrazeny hodnoty sensitivity, specificity a přesnosti pro konkrétní snímek.

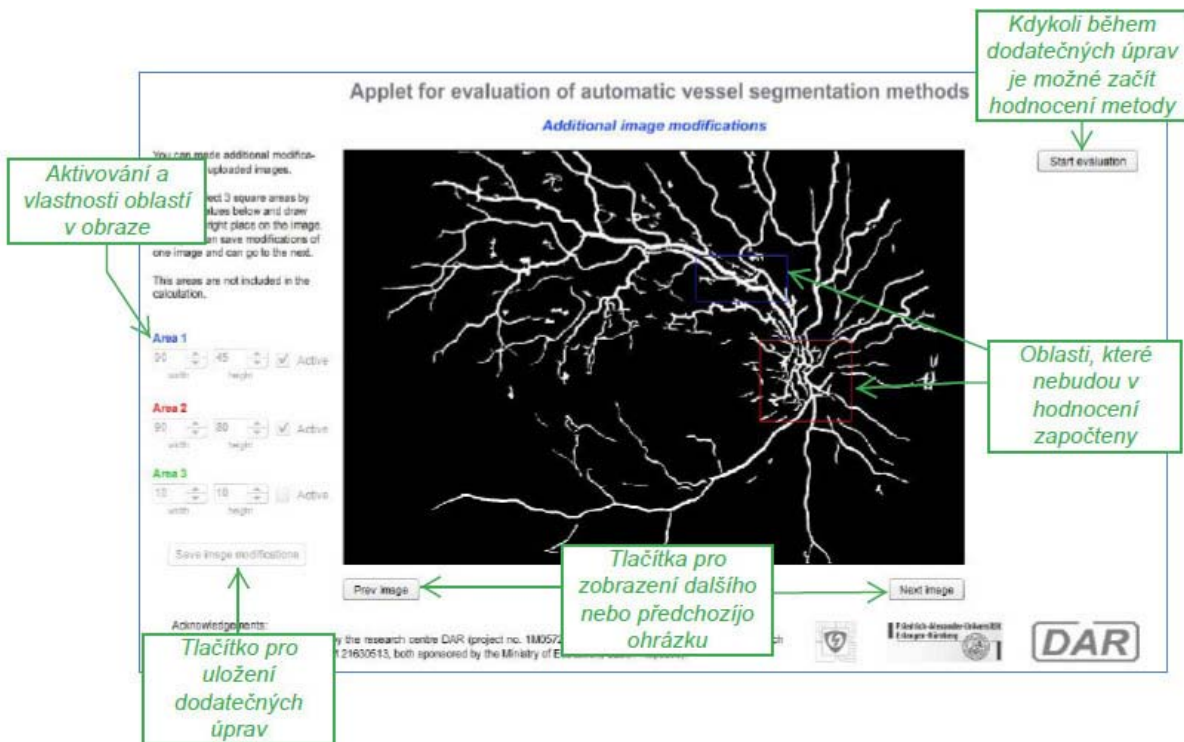
Na následujících snímcích je zobrazeno grafické prostředí aplikace. Ve snímcích jsou popsány důležité ovládací prvky aplikace.



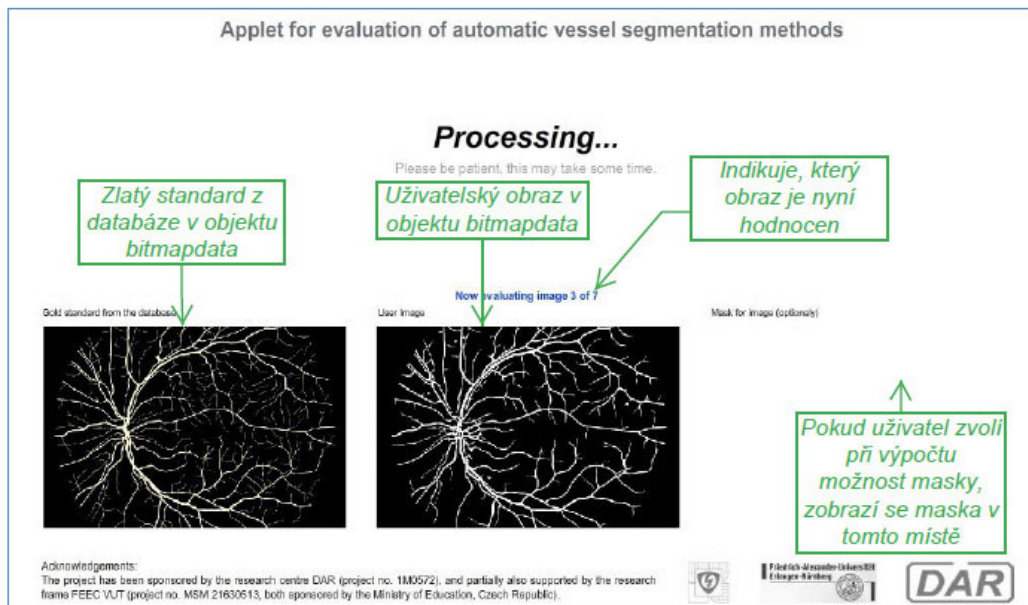
Obr. 17: Úvodní obrazovka aplikace



Obr. 18: Úvodní obrazovka aplikace po načtení obrázků a zvolení správného typu nahraných obrázků



Obr. 19: Dodatečné úpravy po uložení dvou oblastí pro snímek



Obr. 20: Průběh hodnocení aplikace

Applet for evaluation of automatic vessel segmentation methods

Evaluation results

Tabulka výsledků, může být řazena podle každého sloupce.

IMG number	SE (%)	SP (%)	ACC (%)
2	51.15	98.08	89.08
5	64.86	97.2	94.26
Average	66.73	96.63	92.99
3	66.89	96.7	92.44
6	67.06	97.59	94.06
7	70.73	95.3	93.14
1	71.9	96.04	93.97
4	74.52	95.5	93.19

Zobrazí detailní hodnoty ke zvoleném uobrázku

Řádek s průměrnými hodnotami

Uloží výsledky do html

Save results to html

Save results to XML

Uloží výsledky do XML

Acknowledgements: The project has been sponsored by the research centre DAR (project no. 1M0572), and partially also supported by the research frame FEEC VUT (project no. MSM 21630513, both sponsored by the Ministry of Education, Czech Republic).

Obr. 21: Výsledky hodnocení 7-mi nahraných snímků

Applet for evaluation of automatic vessel segmentation methods

Evaluation results - image details

Obraz zlatého standardu

Číslo právě zobrazeného snímku

5/7

Uživatelský obraz

Calculated values for uploaded image:

Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
64.86	97.2	94.26

Back to results

Vrátí uživatele zpět na výsledky

Acknowledgements: The project has been sponsored by the research centre DAR (project no. 1M0572), and partially also supported by the research frame FEEC VUT (project no. MSM 21630513, both sponsored by the Ministry of Education, Czech Republic).

Obr. 22: Detailní výsledky pátého snímku z předchozí tabulky

6. Výsledky a diskuze

Hodnocení segmentace cévního řečiště automatickou metodou s využitím přizpůsobených filtrů pomocí aplikace bylo prováděno na PC s procesorem Intel® Core® 2 duo 2.33 GHz, 4GB paměti, 1GB grafickou kartou a PC s procesorem Intel® Core® 2 duo 1.6 GHz, 4GB paměti, 512MB grafickou kartou. Na obou PC byl nainstalován operační systém Windows® 7. Aplikace je náročná zejména na využití RAM. Proto je pro testování více jak tří obrázků doporučeno použití PC s minimálně 4GB RAM, v opačném případě nemusí být hodnocení dokončeno a internetový prohlížeč nahlásí chybu.

Výsledky hodnocení automatické metody, z níž jsou dostupné výsledky, jsou uvedeny v tabulkách níže. Vedle sebe jsou vždy zobrazeny výsledky z nové databáze bez použití a s použitím masky.

Tab. 4: Procentuální výsledky automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na databázi DRIVE [15]

Název snímku	Procento správně detekovaných pixelů patřících cévám	Procento nesprávně detekovaných pixelů patřících chybějícím úsekům cév	Procento nesprávně detekovaných pixelů patřících artefaktům
01_test	77 %	23 %	2 %
02_test	63 %	37 %	1 %
03_test	66 %	34 %	3 %
04_test	61 %	39 %	1 %
05_test	70 %	30 %	2 %
06_test	60 %	40 %	1 %
07_test	65 %	35 %	3 %
08_test	55 %	45 %	2 %
09_test	60 %	40 %	1 %
10_test	71 %	29 %	3 %
11_test	64 %	36 %	2 %
12_test	67 %	33 %	2 %
13_test	61 %	39 %	1 %
14_test	70 %	30 %	2 %
15_test	76 %	24 %	5 %
16_test	68 %	32 %	1 %
17_test	63 %	37 %	2 %
18_test	76 %	24 %	3 %
19_test	75 %	25 %	1 %
20_test	73 %	27 %	2 %
Průměrné Hodnoty:	67 %	33 %	2 %

Tab. 4. zobrazuje výsledky metody na databázi DRIVE. Je z ní patrná úspěšnost správné detekce bodů metodou přizpůsobených filtrů patřících k cévnímu řečišti.

Tab. 5: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na zdravých snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky

a)				b)			
Img	SE	SP	ACC	Img	SE	SP	ACC
1	73.80	97.20	94.61	1	73.81	96.61	79.12
2	79.23	97.14	95.18	2	79.25	96.54	79.70
3	66.95	97.63	94.06	3	66.96	97.13	78.55
4	73.97	97.59	95.12	4	73.98	97.08	79.61
5	76.19	97.70	95.55	5	76.20	97.22	80.03
6	76.98	97.03	94.75	6	76.99	96.40	79.23
7	76.18	97.91	95.77	7	76.19	97.48	80.27
8	71.28	98.04	95.05	8	71.29	97.63	79.54
9	68.37	97.91	95.31	9	68.38	97.48	79.82
10	68.82	97.74	94.92	10	68.82	97.27	79.42
11	78.58	97.33	95.35	11	78.60	96.77	79.86
12	75.04	97.8	95.02	12	75.07	97.33	79.52
Average	73.78	97.58	95.05	Average	73.79	97.07	79.55

Tab. 6: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na glaukomatických snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky

a)				b)			
Img	SE	SP	ACC	Img	SE	SP	ACC
1	76.34	95.96	94.43	1	76.39	95.15	78.95
2	65.48	96.92	93.66	2	65.54	96.28	78.19
3	60.60	98.07	95.08	3	60.63	97.68	79.60
4	66.23	97.38	94.52	4	66.28	96.84	79.03
5	66.76	97.68	94.93	5	66.80	97.20	79.44
6	68.06	97.36	94.61	6	68.12	96.82	79.11
7	66.06	97.02	94.15	7	66.10	96.41	78.66
8	68.73	96.03	93.38	8	68.78	95.21	77.89
9	61.47	97.52	94.11	9	61.50	97.01	78.64
10	65.16	97.26	94.14	10	65.19	96.69	78.65
11	69.88	96.42	93.60	11	69.93	95.67	78.10
12	75.95	95.59	93.71	12	75.97	94.68	78.21
13	71.18	96.59	94.56	13	71.19	95.9	79.11
14	67.13	96.38	93.99	14	67.15	95.65	78.51
15	70.98	96.87	94.68	15	71.00	96.23	79.17
Average	68.00	96.86	94.23	Average	68.03	96.22	78.75

Tab. 7: Výsledky hodnocení automatické segmentace cévního řečiště přizpůsobenými filtry na retinopatických snímcích z databáze HRF; a) hodnocení bez použití masky; b) hodnocení s použitím masky

a)				b)			
Img	SE	SP	ACC	Img	SE	SP	ACC
1	71.34	96.84	95.33	1	71.40	96.21	79.83
2	70.03	97.02	95.02	2	70.12	96.42	79.55
3	66.96	97.09	95.01	3	66.98	96.51	79.54
4	59.65	97.13	94.69	4	59.68	96.56	79.19
5	76.99	96.5	95.09	5	77.02	95.80	79.58
6	59.54	95.45	92.27	6	59.56	94.52	76.79
7	66.19	97.06	93.37	7	66.23	96.44	77.90
8	71.9	96.04	93.97	8	71.93	95.23	78.47
9	54.84	97.65	93.18	9	54.87	97.16	77.69
10	66.03	97.14	93.02	10	66.06	96.51	77.50
11	74.18	96.12	93.9	11	74.20	95.31	78.38
12	67.18	96.89	94.42	12	67.20	96.26	78.93
13	69.22	97.28	94.97	13	69.24	96.73	79.49
14	68.02	96.44	93.93	14	68.05	95.71	78.44
15	73.01	94.62	93.01	15	73.06	93.54	77.51
Average	67.67	96.61	94.07	Average	67.70	95.92	78.58

Z Tab. 5, 6 a 7 je patrný pokles hodnot přesnosti ACC po použití masky vymezující FOV, jde téměř o 17%. Toto je nezanedbatelná hodnota potvrzující doporučení používání masky při testování výsledků metod. Celkově metoda detekuje cévní řečiště s přesností dosahující průměrně 79%. Na Obr. 23 je uveden výsledek hodnocení zdravých snímků bez použití masky v XML formátování.

```

<result>
  <item>
    <img_number>1</img_number>
    <SE>73.8</SE>
    <SP>97.2</SP>
    <ACC>94.61</ACC>
  </item>
  <item>
    <img_number>2</img_number>
    <SE>79.23</SE>
    <SP>97.14</SP>
    <ACC>95.18</ACC>
  </item>
  <item>
    <img_number>3</img_number>
    <SE>66.95</SE>
    <SP>97.63</SP>
    <ACC>94.06</ACC>
  </item>
  <item>
    <img_number>4</img_number>
    <SE>73.97</SE>
    <SP>97.59</SP>
    <ACC>95.12</ACC>
  </item>
</result>

```

Obr. 23: Ukázka výsledků v XML, zobrazeno hodnocení zdravých snímků bez použití masky

Vzhledem k tomu, že je databáze HRF nová a tato metoda na ní byla testována jako první, nejsou dostupné statistiky určující nejlepší dosažené výsledky a nelze tedy také říci, zda je metoda schopna na této databázi kvalitní detekce. Lze pouze konstatovat, že při použití HRF dosáhla metoda schopnosti detekovat cévní řečiště průměrně 79 %. Tato nižší hodnota, oproti metodě testované na databázi DRIVE [28], je způsobena vysokou mírou detailů obsažených v obrazech a neschopností testované metody tyto detailní struktury detekovat. Testovaná metoda tedy ztrácí při použití na HRF rozlišovací schopnost. Možným řešením je, upravit algoritmus metody tak, aby zohlednil i větší míru detailů v obraze. Tento krok ovšem zvýší výpočetní nároky během výpočtů, bude tedy třeba najít vhodný kompromis.

Do možných chyb ve výsledcích hodnocení metod je nutné zahrnout pravděpodobnost chybně označených pixelů ve zlatých standardech. Tento fakt lze eliminovat použitím více než jedné sady snímků zlatých standardů při hodnocení, výsledky z více těchto sad lze poté průměrovat. Takto získané výsledky budou přesnější. Při samotném hodnocení mohou vznikat chyby pouze při zaokrouhlování, ale vzhledem k tomu, že aplikace nepoužívá při výpočtech zaokrouhlování a jsou zaokrouhleny pouze výsledné hodnoty, jsou tyto chyby minimální.

Kompletní databáze, včetně zdrojových souborů PSD, zdrojové soubory k aplikaci i soubory potřebné ke správné funkci a výsledky obou metod, jsou dostupné na přiloženém datovém médiu, stejně jako výsledky hodnocení uložené v HTML formátu.

7. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit aplikaci, umožňující hodnotit výsledky automatických metod segmentace cévního řečiště porovnáním výsledku ke zlatému standardu. Aplikace je ovšem navržena tak, že umí hodnotit jakékoliv výsledky metod porovnáním se snímky zlatých standardů, ne pouze metody segmentace cévního řečiště. Podmínkou je uložení výsledků a zlatých standardů v binárních barvách, a zároveň výměna databáze zlatých standardů na serveru. Tato možnost není v aplikaci v současné době zahrnuta. Bylo by tedy nutné vyměnit databázi na serveru manuálně.

Pro co nejlepší uživatelskou dostupnost byla aplikace vytvořena jako Flash applet, který je možné umístit na webové stránky. Vzhledem k náročnosti na paměť RAM je na místě také idea vytvoření rozhraní pouze pro nahrávání uživatelských dat a zobrazení výsledků. Vlastní výpočet by poté probíhal na straně serveru. Tímto způsobem lze výrazně snížit hardwarovou náročnost. Vzhledem k lokalizaci aplikace na anglicky psaných internetových stránkách, byl pro aplikaci vytvořen přehledný anglický návod k obsluze, který je rovněž dostupný z uživatelského rozhraní aplikace.

Pro hodnocení metod úspěšnosti segmentace cévního řečiště byla vytvořena nová databáze snímků zlatých standardů ve vysokém rozlišení – HRF. Tato databáze obsahuje 48 snímků zlatých standardů ve třech kategoriích, přesné rozdělení je uvedeno v Tab. 2. Vzhledem k faktu, že je databáze nová a bylo na ní provedeno testování pouze jedné metody, neexistují pro tuto databázi statistiky úspěšnosti metod segmentovat cévní řečiště.

Metoda byla na databázi HRF testována na 45 snímcích. Výsledky tak obsahují zdravé, glaukomatické i retinopatické snímky. Na všech třech typech dosáhla metoda podobné přesnosti cca 79%. Lze tedy říci, že je metoda stejně úspěšná jak pro zdravé, tak pro nemocné snímky. Tento fakt ji předurčuje k použití pro diagnostiku, kde je nutné hodnotit jak zdravé, tak nemocné snímky. Vzhledem k faktu popsaném v předchozím odstavci, však nelze určit, zda je metoda na databázi HRF úspěšná. Nelze ji tedy zařadit do diagnostického procesu dříve, než budou dostupné statistiky úspěšnosti pro databázi HRF.

V návaznosti na tuto práci bude tedy vhodné otestovat více metod segmentace cévního řečiště na databázi HRF a vypracovat statistiky dosažených výsledků. Následně by měly být tyto statistiky uveřejněny. Při sestavování statistik by měly být do výpočtů obsaženy všechny dostupné přístupy k segmentaci cévního řečiště, tyto přístupy jsou uvedeny v kapitole 3.2. Rovněž je na místě rozšířit databázi HRF o druhou sadu snímků zlatých standardů.

Případným rozšířením programu a upravením databáze by mělo být možné, odstranit krok výběru typu použitých snímků uživatelem. Tímto krokem je možné eliminovat chybu na straně uživatele. Další možná úprava aplikace, by měla umožnit nahrávat i uživatelskou databázi zlatých standardů na server. Na serveru je možno tyto databáze dále uchovávat a vytvořit tak soubor databází zlatých standardů pro použití dalšími uživateli.

8. Seznam použité literatury

- [1] HUAJUN Y., MING Z., JYH-CHARN L.: *Fractal-based Automatic Localization and Segmentation of Optic Disc in Retinal Images*. Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE 2007. pp. 22-26: 4139-4141.
- [2] MABROUK S. M., SOLUMA H. N., KADAH M. Y.: *Survey of Retinal Image Segmentation and Registration* [pdf dokument]. GVIP Journal, 2006 [cit. 2. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.icgst.com/gvip/Volume6/Issue2/P1150628004.pdf>>
- [3] SINTHANAYOTHIN CH., BOYCE F. J.: *Automated localisation of the optic disc, fovea, and retinal blood vessels from digital colour fundus images* [HTML dokument]. Br. J. Ophthalmol, 1999 [cit. 2. prosince 2010]. 83: pp. 902-910. Dostupné z URL: <<http://bjo.bmj.com/cgi/content/full/83/8/902>>
- [4] WALTER T., KLEIN C. J.: *Segmentation of Color Fundus Images of the Human Retina: Detection of the Optic Disc and the Vascular Tree using Morphological Techniques* [pdf dokument]. [cit. 2. prosince 2010]. Dostupné z URL: <http://cmm.ensmp.fr/~walter/articles_walter/walterklein.pdf.gz>.
- [5] JOMIER J., WALLACE K. D., AYLWARD R. S.: *Quantification of retinopathy of prematurity via vessel segmentation. International Conference of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention MICCAI* [HTML dokument]. 2003 [cit. 2. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://citeseer.ist.psu.edu/jomier03quantification.html>>
- [6] FLAMMER J.: *Glaukom, průvodce pro pacienty, úvod pro zdravotníky*. Triton, 1. vydání 2003. ISBN 80-7254-351-2.
- [7] RAPANTZIKOS K., ZERVAKIS M., BALAS K.: *Detection and segmentation of drusen deposits on human retina: Potential in the diagnosis of age-related macular degeneration*. Medical Image Analysis. 2003. 7(1): pp. 95-108.
- [8] PROVAZNÍK I.: *Úvod do biomedicínské informatiky; Pravděpodobnost v rozhodování-přednáška* [pdf dokument]. ÚBMI VUT Brno. 2009.
- [9] PROVAZNÍK I.: *Úvod do biomedicínské informatiky; Pravděpodobnost v rozhodování 2-přednáška* [pdf dokument]. ÚBMI VUT Brno. 2009.
- [10] MedCalc: *ROC curve analysis: introduction* [HTML dokument]. MedCals software bvba. 2010 [cit. 11. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.medcalc.org/manual/roc-curves.php>>
- [11] ZEIG MH., CAMPBELL G.: *Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine*. 1993. Clinical Chemistry 39. pp. 561-577.
- [12] SEDLAČÍK M., SKORKOVSKÁ Š.: *Use of ROC Curves in Diagnostics of Glaucoma* [pdf dokument]. University of Defence Brno. 2007 [cit. 11. prosince 2010]. Dostupné z URL: <http://www.meduniwien.ac.at/roes/ROeS_Seminar_Bern_2007/talks/ROeS2007_Sedlacik.pdf>
- [13] KOLÁŘ R.: *Diagnostika bio- a eko- systémů; Fundus kamery, konfokální mikroskopie - přednáška* [pdf dokument]. ÚBMI VUT Brno. 2007 [cit. 2. prosince 2010]. Dostupné z URL: <http://www.ubmi.feec.vutbr.cz/~kolarr/mdbe/Kolar_MDBE_3.pdf>
- [14] Department of Cybernetics: *Zpracování biologických dat - biostatistika* [pdf dokument]. Czech Technical University in Prague. 2006 [cit. 11. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/teaching/zbd/biostat3.pdf>>
- [15] Odstrčilík J.: *ANALÝZA BAREVNÝCH SNÍMKŮ SÍTNICE SE ZAMĚŘENÍM NA SEGMENTACI CÉVNÍHO ŘEČÍŠTĚ*: diplomová práce. VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2008. 88 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Jan, CSc.
- [16] MARÍN D., AQUINO A., GEGÚNDEZ-ARIAS M. E., BRAVO M. J.: *A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features* [pdf dokument]. IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING. 2010. 13s.

- [17] The Free Dictionary by Farlex: *Medical Dictionary - Gold standard* [html dokument]. McGraw-Hill Concise Dictionary of Modern Medicine. 2002 [cit. 12. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/gold+standard>>.
- [18] *Vyšetření vrstvy nervových vláken na sítnici* [HTML dokument]. [cit. 18. května 2008]. Dostupné z URL: <<http://www.kubena.cz/vlakna/vlakna.htm>>
- [19] J.J. Staal, M.D. Abramoff, M. Niemeijer, M.A. Viergever, B. van Ginneken: *Ridge based vessel segmentation in color images of the retina*, IEEE Transactions on Medical Imaging, 2004, vol. 23, pp. 501-509.
- [20] *DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel Extraction* [HTML dokument]. [cit. 18. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.isi.uu.nl/Research/Databases/DRIVE/>>
- [21] *Specifikace fundus kamery CANON CF-60 UVi* [HTML dokument]. [cit. 19. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.lpoproducts.com/Products/LPO13.asp>>
- [22] *Structured Analysis of the Retina* [HTML dokument]. [cit. 27. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.ces.clemson.edu/~ahoover/stare/>>
- [23] *STARE Diagnostic Approach* [HTML dokument]. [cit. 27. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.parl.clemson.edu/stare/diagnosis.html>>
- [24] HOOVER A.: *Threshold Probing to Segment Blood Vessels* [HTML dokument]. 2000 [cit. 27. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.parl.clemson.edu/stare/probing/>>
- [25] HOOVER A.: *Locating the optic nerve* [HTML dokument]. 2002 [cit. 27. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.parl.clemson.edu/stare/nerve/>>
- [26] LI H., HSU W., LEE M. L.: *A piecewise gaussian model for profiling and differentiating retinal vessels* [HTML dokument]. School of Computing, National University of Singapore, Singapore 117543. [cit. 27. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://citeseer.ist.psu.edu/li03piecewise.html>>
- [27] ZHU T.: *Fourier cross-sectional profile for vessel detection on retinal images*. Computerized Medical Imaging and Graphics. vol. 34, 2010 pp. 203-212.
- [28] BUDAI A., MICHELSON G., HORNEGGER J.: *Multiscale Blood Vessel Segmentation in Retinal Fundus Images* [pdf dokument]. Germany.
- [29] HO A. C., BROWN C. G., McNAMARA A. J., RECCHIA M. F., REGILLO D. C., VANDER F. J.: *Color atlas & synopsis of clinical ophthalmology*, Wills eye hospital, 2003. pp. 2-129, ISBN: 0-07-137596-1
- [30] MeMeditorail: *Zelený zákal* [HTML dokument]. 2010 [cit. 30. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.zeleny-zakal.cz/vysetreni-a-lekari>>
- [31] RŮŽIČKOVÁ E.: *Stručný průvodce glaukomovým onemocněním*. Česká glaukomová společnost. 2003 [cit. 30. prosince 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.glaukom.cz/kategorie.asp?idk=1>>
- [32] HENEGHAN C., FLYNN J., OKEEFE M., CAHILL M.: *Characterization of changes in blood vessel width and tortuosity in retinopathy of prematurity using image analysis*. Med. Image Anal., vol. 6, pp. 407- 429, 2002.
- [33] ODSTRČILÍK J., BUDAI A., SVOBODA O. : *High Resolution Fundus Image Database* [ZIP archiv]. VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2011. Dostupné z URL: <<http://projects.ubmi.feec.vutbr.cz/ophthalmo/vessel/image-database.zip>>
- [34] FRANZ M. M., JAVED M. Y., BASIT A.: *Evaluation of retinal vessel segmentation methodologies based on combination of vessel centerlines and morphological processing*. IEEE International Conference on Emerging Technologies ICET 2008. 2008. Rawalpindi, Pakistan.

- [35] GIANINI A., GRISAN E., RUGGERI A.: *Enhanced Classification-Based Vessel Tracking Using Vessel Models and Hough Transform*. Proc. of the 3rd European Medical and Biological Engineering Conference EMBEC 2005. November 20-25, 2005, Prague, Czech Republic. vol. 11, no.1, ISSN 1727-1983.
- [36] HOOVER A., KOUTZNESTOVA V., GOLDBAUM: *Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response*. IEEE Trans. 2000. Med. Imag., vol. 19, pp. 203-210
- [37] JIANG X., MOJON D.: *Adaptive local thresholding by verification-based multithreshold probing with application to vessel detection in retinal images*. IEEE Trans. 2003. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 25, pp. 131–137.
- [38] LAM B. S. Y., YAN H.: *A Novel Vessel Segmentation Algorithm for Pathological Retina Images Based on the Divergence of Vector Fields*. IEEE Trans. 2008. On Medical Imaging, vol. 26, No. 2. pp. 237-246.
- [39] MARÍN D., AQUINO A., GERÚNDEZ-ARIAS M. E., et al.: *A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-based Features*. IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. 30, no. 1, 2011.
- [40] MENDOC A. M., CAMPILHO A.: *Segmentation of Retinal Blood Vessels by Combining the Detection of Centerlines and Morphological Reconstruction*. IEEE Trans. Med. Imag. 2006. vol. 25, pp. 1200-1213..
- [41] PALOMERA-PÉREZ M. A., MARTINEZ-PEREZ M. E., BENÍTEZ-PÉREZ H., et al.: *Parallel Multiscale Feature Extraction and Region Growing: Application in Retinal Blood Vessel Detection*. IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine. March 2010. vol. 14, no. 2. pp. 500-506.
- [42] RICCI E., PERFETTI R.: *Retinal Blood Vessel Segmentation Using Line Operators and Support Vector Classification*. IEEE Trans. October 2007. On Medical Imaging, vol. 26, No. 10. pp. 1357-1365.
- [43] SOARES J. V. B., LEANDRO J. J. G., CESAR JR. R. M., et al.: *Retinal vessel segmentation using the 2-D Gabor wavelet and supervised classification*. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2006. 25(9): 1214–1222.
- [44] STAAL J., ABRAMOFF M. D., NIEMEIJER J., VIERGEVER M. A., VAN GINNEKEN B.: *Ridge-based vessel segmentation in color images of the retina*. IEEE Trans. Med. Imag.. Apr. 2004. vol. 23, no. 4, pp. 501-509.
- [45] VLACHOS M., DERMATAS E.: *Multi-scale retinal vessel segmentation using line tracking, Computerized Medical Imaging and Graphics*. vol. 34, 2010. pp. 213-227.
- [46] ZHANG L., LI Q., YOU J., et al.: *A modified matched filter with double-sided thresholding for screening proliferative diabetic retinopathy*. IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine. July 2009. vol. 13, no. 4.
- [47] K. K. DELIBASIS, I. A. KECHRINIOTIS, C. TSONOS, et al.: *Automatic model-based tracing algorithm for vessel segmentation and diameter estimation*. 2010. Computer Methods and Programs in Biomedicine, vol. 100. pp. 108-122.
- [48] TRAMONTAN L., POLETTI E., FIORIN D., et al.: *A Web-based System for the Quantitative and Reproducible Assessment of Clinical Indexes from the Retinal Vasculature*. IEEE Trans Biomed Eng. 2010 Oct 14.
- [49] ELSEVIER: *Gold Standards - About Clinical Pharmacology, free trial version* [HTML dokument]. 2011 [cit. 24. května 2011]. Dostupné z URL:
<<http://www.goldstandard.com/loginPages/CP-AboutClinicalPharm.html>>
- [50] HOOVER A. : *Locating the optic nerve* [HTML dokument]. 2002 [cit. 24. května 2011]. Dostupné z URL:
< <http://www.parl.clemson.edu/stare/nerve/>>

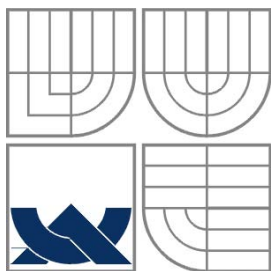
9. Použité zkratky a symboly

ROC	ReceiverOperatingCharacteristic
TPR	True positive rate
FPR	False positive rate
TP	True positive
FP	False positive
TN	True negative
FN	False negative
FOV	Fieldofview
VUT	Vysoké učení technické
ÚBMI	Ústav biomedicínského inženýrství
PX	Pixel, obrazový bod

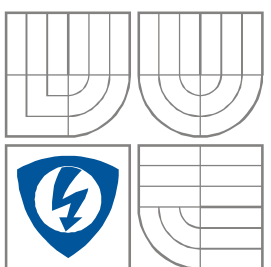
10. Přílohy

Příloha 1 – User manual – uživatelský návod k aplikaci

User manual – uživatelský návod k aplikaci



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

APPLET FOR EVALUATION OF AUTOMATIC SEGMENTATION METHODS OF VESSEL TREE

USER MANUAL

Content

1. Introduction	48
2. Application	49
2.1. Important steps and tips of right evaluation	49
2.2. How to use applet.....	49
Uploading images	49
Select the type of images from the database	50
Evaluation start.....	50
Additional modifications	50
Evaluation.....	50
Evaluation results.....	50
Evaluation results - image details.....	50
2.3. User interface.....	51
3. Evaluation.....	54
3.1. Database.....	54
3.2. Principles of the evaluation.....	54
4. Sources.....	55

1. Introduction

This applet has been created for the need of fast and licence free evaluation of results obtained by vessel segmentation methods for every user without having of installation or other settings. Applet is primary determined for evaluation of automatic vessel segmentation methods, but can also valuate other method by using of comparison images to gold standards. Evaluation is based on the pixel operations and counting values like TPR or accuracy, you can find complete list of calculations in chapter 3.2. Additional modifications for define the areas that will not be evaluated are obvious. Applet has been created in Adobe Flash CS4 Professional, written in Action Script 3.0. Adobe Flash Player 10.3. or higher is necessary.

Gold standard images in 8 Mpx resolution are used in applet. This is ideal for high resolution methods. One set of gold standards is available only, but in the future two are expected. The complete package of the database (ZIP, 137Mb) is linked below. Content of this archive and database is described in chapter 3.1.

< [http://projects.ubmi.feec.vutbr.cz/ophthalmo/vessel/ image-database.zip](http://projects.ubmi.feec.vutbr.cz/ophthalmo/vessel/image-database.zip) >

We are currently preparing options of gold standard database modification future users.

Before you start the evaluation please read chapter 2.1. Important step and tips of right evaluation.

If you have any other tips or questions please contact us on:

Email 1: **odstcilik@feec.vutbr.cz**

Email 2: **xsvobo32@stud.feec.vutbr.cz**

2. Application

2.4. Important steps and tips of right evaluation

There are several important steps of this procedure. If you ask for proper evaluation you must meet following steps. These steps are written on the home screen of the applet too, but in abbreviated form.

Important steps:

- **upload your images** – **first two characters of uploaded image must be identical to image from.** Applet is using this first characters to justifications and assignments images to images from the database.
- **selection right type of uploaded image from the database** – (diabetic, healthy, glaucomatic) If you select bad type, can not compare images.
- **uploaded images must contain only black and white pixels** – see chapter 3.2. Applet is comparing values of pixels where black and white is the best.
- **type of uploaded images** – applet supports only images in **jpg, gif and png format**, for these formats is also set up a filter. Applet could not calculate with different formats like bmp or tiff.
- **size of uploading images** - due to capacity of server constraints is maximal size of each image limited to **1024 kb**
- **dimensions of uploaded images** – don't change them! Must be an original 3504x2336 pixels. If you change them during evaluation your image will have empty pixels and results will be biased.
- **use the mask for images** – **use of mask is recommended.** This mask determinates FOV. If you don't use mask, pixels out of potential FOV are detected like TP and influencing sensitivity, specificity and accuracy of method.

2.5. How to use applet

Uploading images

If you click at the button **Upload images** appears browse box, where you can choose one or more images (by holding Shift or Ctrl and clicking on the files). For the evaluation is sufficient to select only one image. Applet supports upload files only once. Therefore, please **select all requested images at first**. Click to Open in the browse box uploading will start automatically.

Select the type of images from the database

Drop down menu contents type of images that are used for testing which must be (diabetic, healthy, glaucomatic).

Evaluation start

When you uploaded images and select the type of images you can **Start evaluation** or go to the next step and make **Additional modifications** of uploaded images.

Additional modifications

You can make additional modifications of each uploaded image. You can select up to three square areas in the image, that will not be included in

When you active area it appears in the left corner. You can drag area over the image and change their width and height. When you select and places all areas you want to **Save additional modifications**.

You can not modify image again. You can see all areas you have modified. You can list over all uploaded images by buttons **Prev** and **Next image**.

This step is important before you start evaluation because you can select bad or biased areas.

Evaluation

Applet is now evaluating your images in the bottom half you can see which images are now in progress. Applet shows results when it is completed. Applet is calculating sensitivity, specificity and accuracy.

Evaluation results

List of calculated values for each image are shown in the table. You can sort them by each column and save result to preformatted **html** table and **XML** format. Advantage of html is that you don't need to install any other program, you can open it in Internet Explorer or text editor.

Evaluation results - image details

Applet shows detailed values for each image. On the left side is gold image, on the right side is uploaded image. Below this image is calculated sensitivity, specificity and accuracy. You can list over the images by buttons below. You are not able to save you results in this step. If you want to save results you must go back to complete results table.

2.6. User interface

The following pictures show and describe the user interface of the applet.

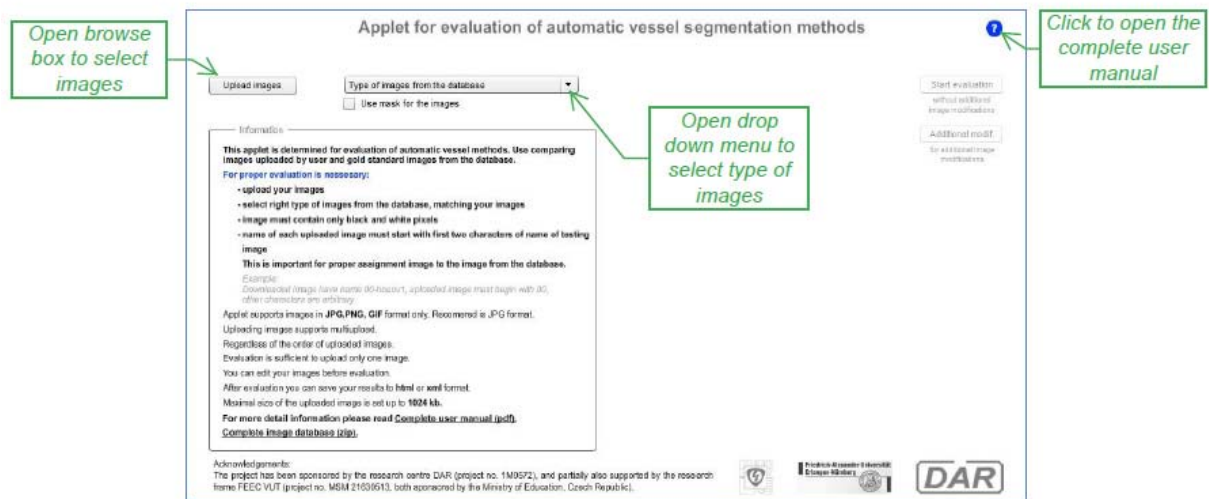


Figure 1: Applet home screen – after load

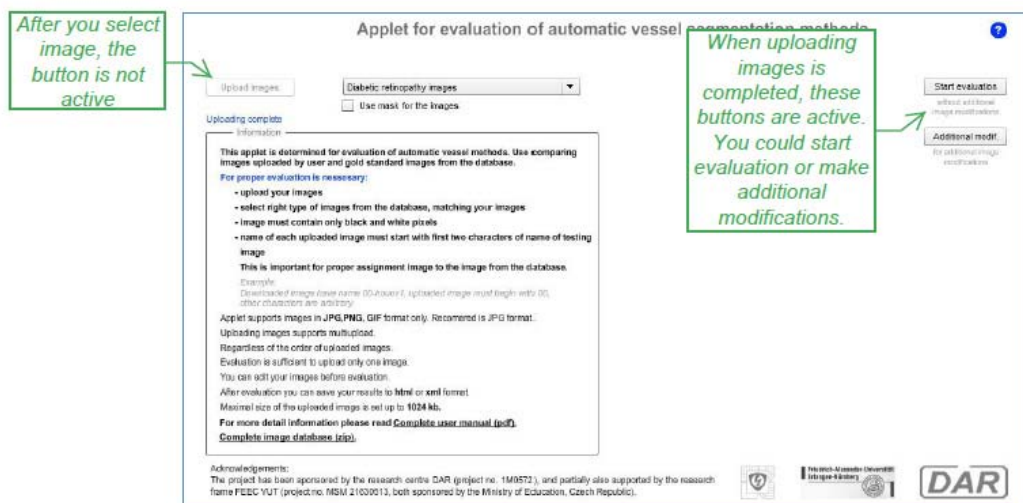


Figure 2: Applet home screen – uploading of selected images is completed, user selected type of images

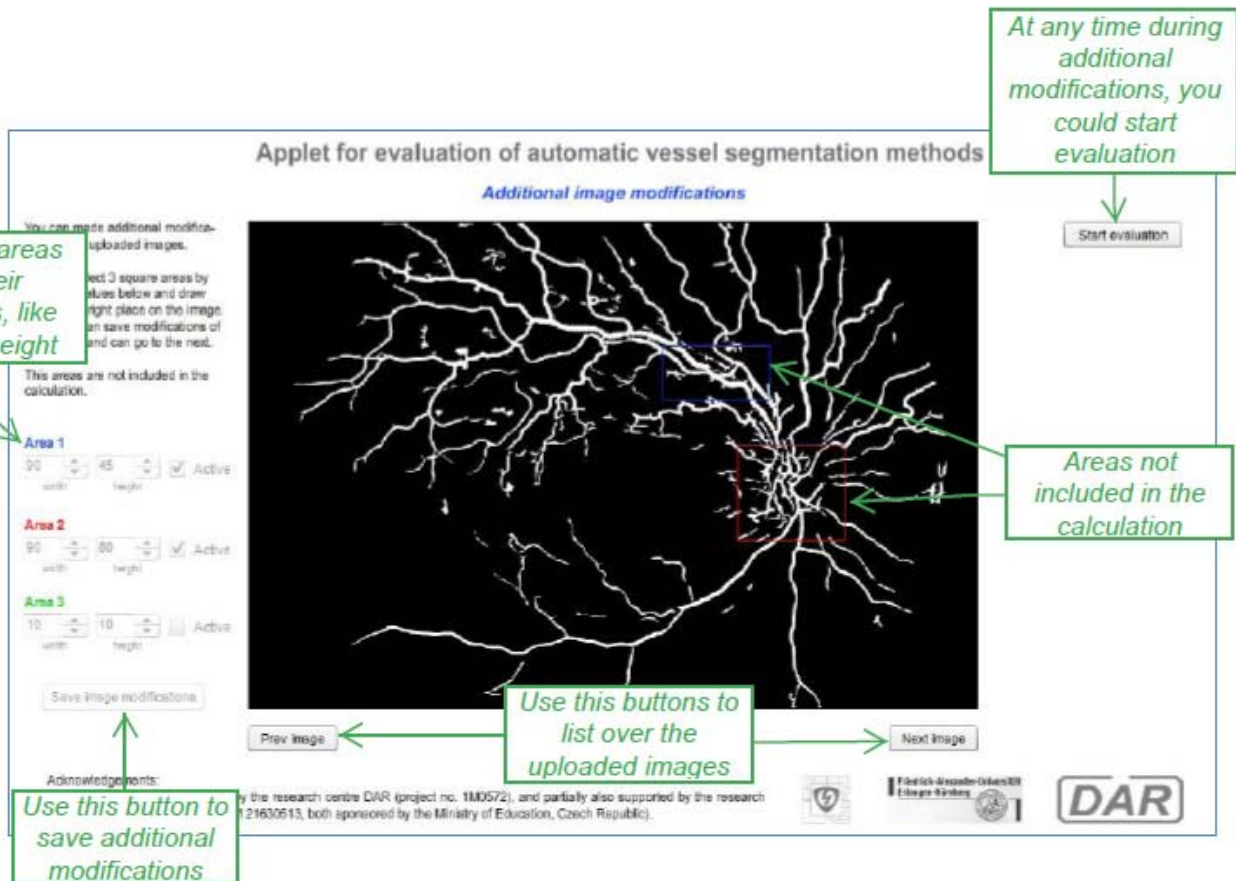


Figure 3: Additional modification, selected and saved two areas

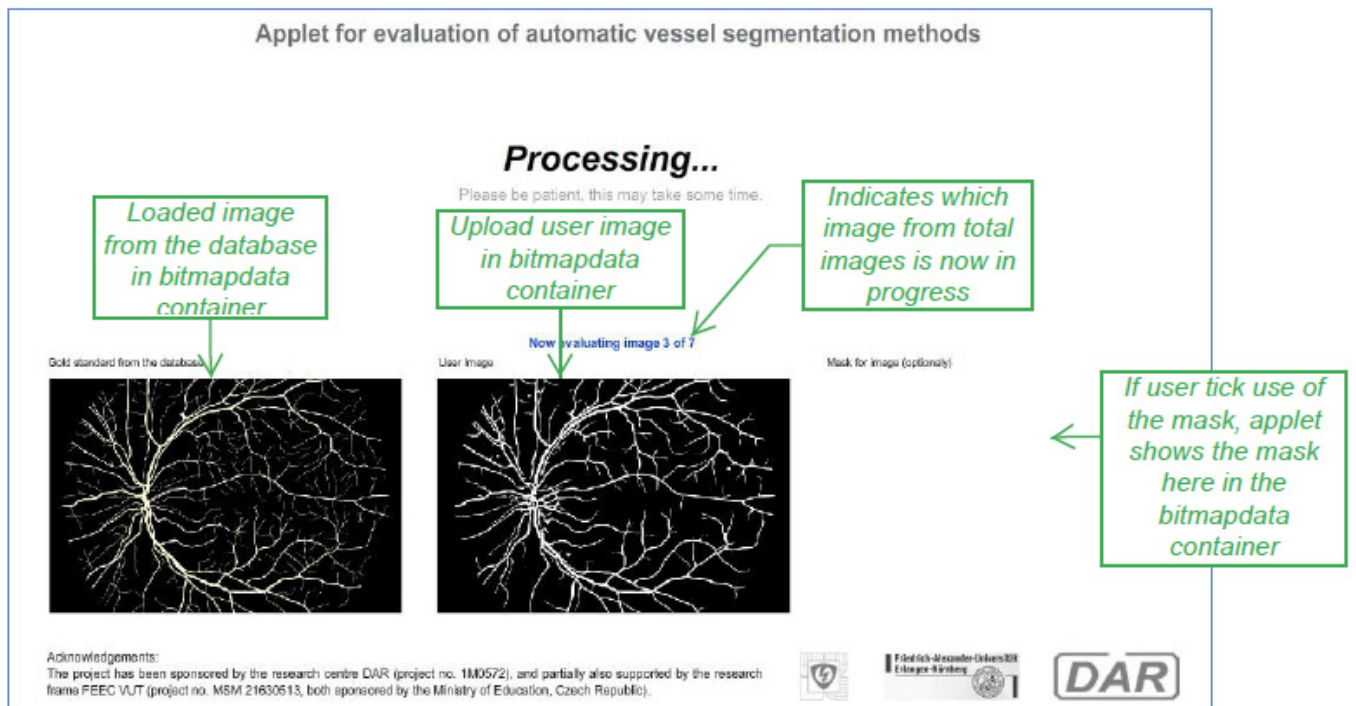


Figure 4: Processing evaluation, without mask

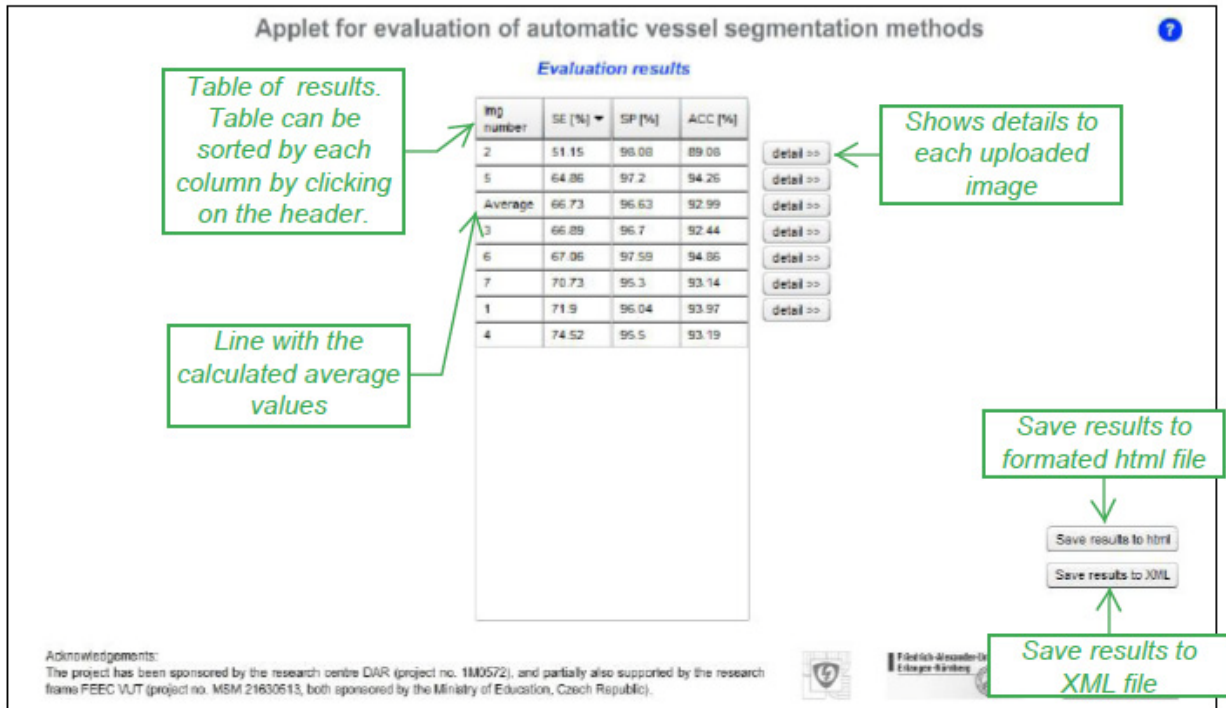


Figure 5: Analysis results in final table sorted by sensitivity

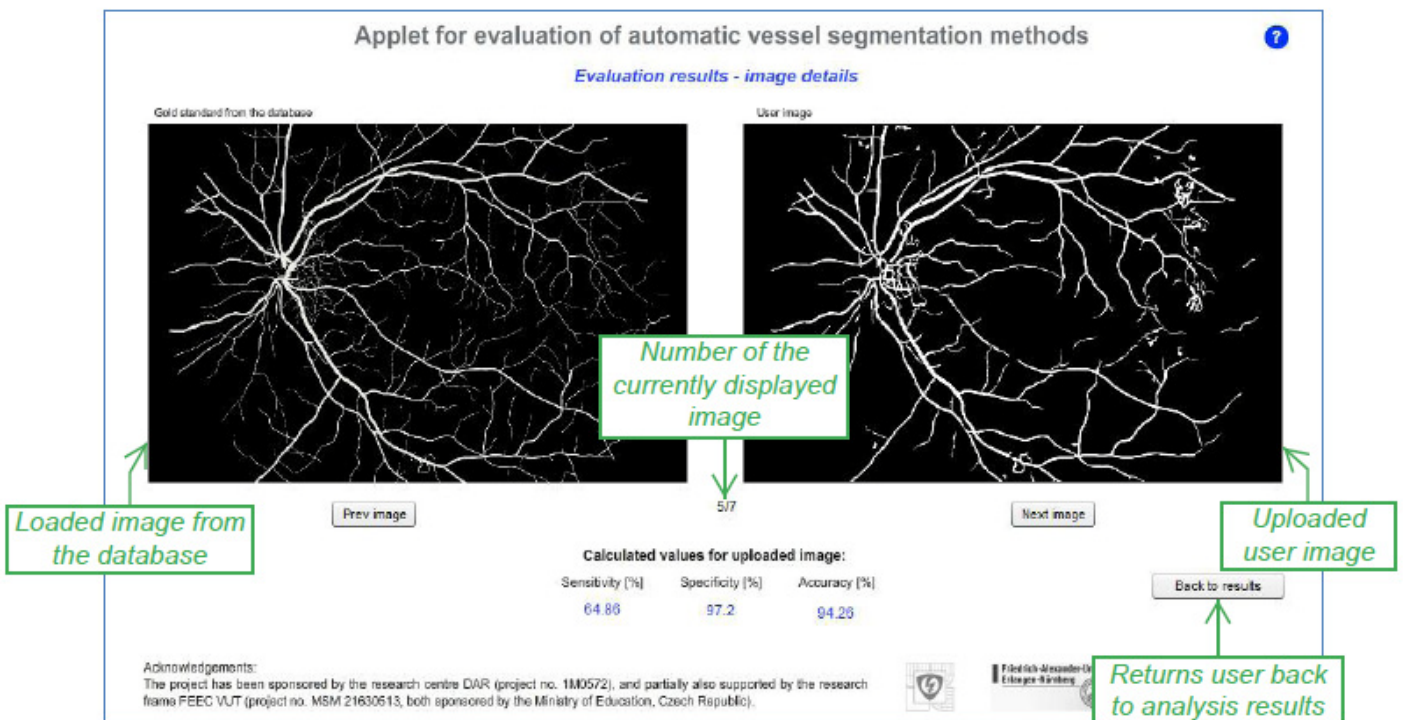


Figure 6: Analysis results – image details screen

3. Evaluation

3.3. Database

Database of retinal images in high resolution is available. The database is divided into three parts – health images, diabetic retinopathy images and glaucomatic images. Each part contains original images for testing, mask for images which determinates the FOV and gold standard saved in binarcolours. Gold standards are in jpg and bmp format. Each image has the resolution 3504x2336 pixels.

Only one set of gold standard for each part is available in the future will be two.

3.4. Principles of the evaluation

Applet is using pixel operations to evaluate images. It compares each pixel from the gold standard image with user image and possibly also mask image. If pixel from the gold standard is white, and pixel in the user image is white too, applet counts number of TP pixels, if pixel from the gold standard is black and pixel in the user image is black too, applet counts number of TN pixels, etc. This method calculates TP, FP, TN and FN. These values are then used in subsequent samples [1], [2]:

$$\textit{Sensitivity (TPR)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$\textit{Specificity (TNR)} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2)$$

$$\textit{Accuracy (ACC)} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (3)$$

Sensitivity, specificity and accuracy values are saved for each image and shown in the table. Finally is for each column calculated average value which shows the accuracy of the method compared to gold standard.

Applet load each image to bitmapdata object and use this object fot pixel operations. Getpixelvalue command is placed in two “for” loops, first horizontal and second vertical resolution. This ensures that each pixel will be assessed. If more than one imageis uploaded applet starts automatically assessment of another one. All calculated values are saved and shown in the table.

4. Sources

- [51] PROVAZNÍK I: *Úvod do biomedicínské informatiky; Pravděpodobnost v rozhodování-lecture* [pdf dokument]. ÚBMI VUT Brno. 2009.
- [52] PROVAZNÍK I: *Úvod do biomedicínské informatiky; Pravděpodobnost v rozhodování 2-lecture* [pdf dokument]. ÚBMI VUT Brno. 2009.