

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

ODSTRANĚNÍ VAD OBJEKTIVU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

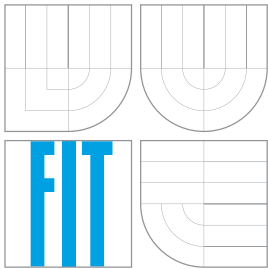
AUTHOR

MICHAL DOLEŽEL

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

ODSTRANĚNÍ VAD OBJEKTIVU

LENS DISTORTION CORRECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL DOLEŽEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ŠILER

BRNO 2008

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá metodami odstraňování vad digitálních fotografií vzniklých v důsledku vad fotografických objektivů. Popisuje nejčastější vady fotografických objektivů, zabývá se příčinami jejich vzniku, dále pak důsledky těchto vad na výsledných fotografiích a možnostmi jejich odstranění z digitálních fotografií. Hlavním cílem práce je návrh a implementace nástroje pro odstranění vad objektivů z digitálních fotografií. Aplikace je vytvořena v jazyce C++ a využitím podpůrných knihoven CImg a Imagemagick. Aplikace je vyvíjena a testována pod operačními systémy MS Windows XP a Linux Kubuntu 7.10. Výsledky jsou porovnávány s profesionálními nástroji pro úpravu digitálních fotografií.

Klíčová slova

objektiv, fotografie, vada objektivu, vada, korekce

Abstract

The bachelor thesis deals with methods of removing digital photographs aberrations caused by photographic lens distortions. It describes the most frequent lens aberrations, deals with their causes, followed by consequences of these aberrations on destination pictures and ways of their removing from digital photographs. The main goal of the thesis is to design and implement tools for removing lens distortions aberrations from a digital photograph. The application was created in C++ programming language with the support of Cimg and Imagemagick libraries. The application was also developed and tested for MS Windows XP and Linux Kubuntu 7.10 operation systems. The results are compared with professional tools for digital photography processing.

Keywords

lens, photography, lens distortion, aberration, correction

Citace

Michal Doležel: Odstranění vad objektivu, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2008

Odstranění vad objektivu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Šilera. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Michal Doležel
7. května 2008

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Ondřeji Šilerovi za odbornou pomoc a pedagogické vedení při řešení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat fotografům Josefu Habrovci, Romanu Ivičičovi a Josefu Valouškovi za odborné konzultace a poskytnuté fotografie.

© Michal Doležel, 2008.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Úvod	3
1 Fotografická optika	4
1.1 Fotografie	4
1.2 Objektiv	4
1.3 Světlo	5
1.4 Svítivost	5
1.5 Barva	5
1.5.1 Co je to barva?	5
1.5.2 Rozdělení světla podle vlnové délky	6
1.5.3 Rozklad světla hranolem	6
1.5.4 Rozdělení viditelného světla podle vlnové délky	6
1.5.5 Barva objektu	7
1.6 Polarizace světla	7
1.7 Čočky	8
1.7.1 Materiál	8
1.7.2 Druhy čoček	8
1.8 Charakteristiky objektivů	9
1.8.1 Ohnisková vzdálenost	9
1.8.2 Optická mohutnost	10
1.8.3 Světelnost a clona	10
1.8.4 Hloubková ostrost	10
1.8.5 Zorný úhel	10
2 Vady čoček a objektivů	11
2.1 Barevné vady	11
2.1.1 Monochromatická vada	11
2.1.2 Chromatická aberace	12
2.1.3 Ztráta barevných složek u podvodních fotografií	13
2.2 Geometrické vady	14
2.2.1 Sferická aberace	14
2.2.2 Perspektivní zkreslení	15
2.3 Vady ostrosti obrazu	16
2.3.1 Nesprávné zaostření	16
2.3.2 Rozmazání pohybujícího se objektu	16
2.3.3 Nesprávně rozostřené pozadí (bokeh)	16
2.3.4 Difrakce	17
2.3.5 Kulová vada	18

2.3.6	Korekce vad ostrosti	18
2.4	Ostatní vady	18
2.4.1	Reflexe v protisvětle	18
2.4.2	Vinětace	19
3	Zvolené korekční metody u vybraných vad	20
3.1	Vybrané vady	20
3.2	Chromatická aberace	20
3.3	Monochromatická vada	21
3.4	Perspektivní zkreslení	21
3.5	Sférická aberace	23
3.6	Vinětace	24
3.7	Ztráta barevných složek u podvodních fotografií	24
4	Návrh a implementace korekčního nástroje	25
4.1	Návrh vnitřní struktury nástroje	25
4.2	Návrh vnitřní struktury korekčního modulu	25
4.3	Návrh vnitřní struktury zobrazovacího modulu	25
4.4	Volba implementačního jazyka	26
4.5	Podporované operační systémy	26
4.6	Přehled implementovaných modulů	26
5	Zhodnocení výsledků korekčního nástroje	27
5.1	Porovnání s existujícími programy na úpravu fotografií	27
5.2	Způsob hodnocení	27
5.3	Výsledky testování:	27
5.4	Celkové zhodnocení	28
	Závěr	29
	Literatura	31
	Seznam příloh	32
	Příloha č. 1 - Ukázka použití jednotlivých modulů	33
	Příloha č. 2 - Porovnání výsledků modulů s profesionálními programy	39
	Příloha č. 3 - Programová dokumentace	49
	Příloha č. 4 - Popis struktury přiloženého CD	56

Úvod

Lidé měli vždy tendenci zachycovat svoje zážitky a prožité chvíle tak, aby si je mohli připomínat a vzpomínat na ně. Již pravěcí lovci žijící v jeskyních zachycovali své slavné okamžiky, jakými bylo např. ulovení mamuta, na stěny jeskyní. Postupem času se lidé vyvíjeli a zdokonalovaly se i nástroje pro zachycení takových okamžiků. Po dlouhou dobu bylo jedinou možností využití služeb kreslířů a malířů. Velký zlom nastal v 16. století, kdy byl vynalezen první fotoaparát. Fotografie, nebo-li malba světlem, představovala ideální prostředek jak zachytit a uchovat obrazovou informaci. První fotoaparáty neposkytovaly moc dobré výsledky, ale postupem času se zdokonalovaly a stávaly čím dál složitějšími a propracovanějšími. Dnešní fotoaparáty používají objektivy obsahující až několik desítek čoček. Seběmenší nepřesnost v umístění takové čočky nebo vada materiálu se poté projeví na výsledné fotografii.

Vady objektivů jsou velmi nepříjemné, protože kazí celkový dojem z fotografie. Navíc mohou způsobovat i velké škody. Pokud by např. vlivem geometrické vady objektivu byla zkreslena letecká fotografie, vznikla by chyba v kartografické mapě, která by mohla mít neblahé následky.

V první kapitole vysvětluji základy fotografické optiky, které jsou nezbytné k pochopení principu, jak funguje fotoaparát a objektiv, jako jeho hlavní část. Druhá kapitola se zabývá jednotlivými objektivovými vadami, příčinami jejich vzniku a možnostmi jejich odstranění. Ve třetí kapitole popisují korekční algoritmy pro následné softwarové zpracování fotografií, obsahujících vady objektivu u vybraných vad. Čtvrtá kapitola se zabývá návrhem a implementací korekčního nástroje. V páté kapitole porovnávám výsledky implementovaného korekčního nástroje s existujícími nástroji pro zpracování digitálních fotografií. Celkový souhrn práce je uveden v závěru práce.

Téma bakalářské práce jsem si zvolil převážně z důvodu zájmu o počítačovou grafiku, která mě velmi zaujala, když jsem se s ní setkal v rámci povinného předmětu Základy počítačové grafiky během svého studia na FIT. Vybrané téma mě navíc oslovilo i z fotografického hlediska, protože jednou z mých zájmových aktivit je i potápění spojené s podvodním fotografováním.

Kapitola 1

Fotografická optika

1.1 Fotografie

Jako umělecký název pro fotografii by se mohl použít pojem malba světlem. Během fotografování je obraz nejprve zachycen objektivem fotoaparátu a poté dopadá na záznamové médium. Fotografie můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin - na fotografie klasické a digitální. U klasické fotografie plní funkci záznamového média tzv. fotografický film. Ten slouží současně jako záznamové, paměťové i archivační médium. Proces fotografování zde u klasických fotografií končí. V digitálních fotoaparátech žádný takový film není. Jako záznamové médium je využíván tzv. elektronický světlocitlivý snímač, tzv. čip. V okamžiku zachycení snímačem jsou data stále analogová, čehož využívá např. formát raw, jehož výhodou je např. bezeztrátová úprava jasu či kontrastu na počítači. V případě, že fotoaparát ukládá data v digitálním formátu, jsou analogová data z čipu fotoaparátu dále zpracována A/D převodníkem. Po zpracování A/D převodníkem se z nich stává digitální záznam - posloupnost nul a jedniček. Všechny tyto činnosti jsou plně automatické.

1.2 Objektiv



Obrázek 1.1: Fotografický objektiv - převzato z [4]

Objektiv je základem a jednou z nejdůležitějších součástí každého fotoaparátu. Objektiv vytváří obraz fotografovaných předmětů. Objektiv si můžeme představit jako takové oko fotoaparátu. Objektiv má hlavní vliv na kvalitu obrazu zobrazeného na snímací čip či film. Jedná se tedy o jednu z nejdůležitějších částí každého fotoaparátu. Abychom pochopili dobře funkce objektivu, je nutné znát základy fotografické optiky.

1.3 Světlo



Obrázek 1.2: Slunce - nejvýznamnější zdroj světla - převzato z [7]

Světlo je základní podmínkou lidského vidění, proto se jej snažili popisovat vědci a fyzikové už ve starověku. První názory na světlo byly velmi primitivní. Jednou z prvních teorií, kterou popsali staří Řekové byl názor, že každé těleso je zdrojem světla. Později se názory zdokonalovaly. Anglický fyzik Isaac Newton přišel s domněnkou, že světlo je proud velmi malých tělísek, která se přímočaře šíří od světelných zdrojů a odrážejí se od ostatních těles. V 19. století představil J. C. Maxwell teorii, že světlo je elektromagnetické vlnění. Maxwellova teorie odrážela a podporovala velké množství světelných jevů, ale nedokázala například vysvětlit vnější fotoelektrický jev. Dnešní definice světla je dvojitá: připouští, že se světlo za určitých podmínek chová jako elektromagnetické vlnění, ale naproti tomu pokud je třeba zkoumat jevy, na které Maxwellova teorie nestačí, jako např. fotoelektrický nebo fotochemický jev, chová se ke světlu jako k proudu světelných částic, tzv. kvant. Základními vlastnostmi světla jsou svítivost, barva (frekvence, vlnová délka) a polarizace. Z pokusů je navíc známo, že kvůli dualitě částice a vlnění má světlo vlastnosti jak vlnění, tak částice.

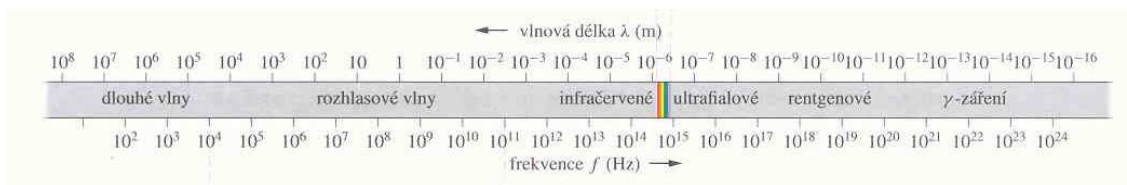
1.4 Svítivost

Svítivost udává prostorovou hustotu světelného toku zdroje v různých směrech. Získá se vydělením toku světla zdroje prostorovým úhlem, do kterého svítí. Hustotu světelného toku lze chápat jako světelnou energii vyzařenou za jednotku času. Svítivost je takto definovaná pro bodový zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností světelného zdroje od místa, kde svítivost určují. Její jednotka je kandela (cd). Převzato z [10]

1.5 Barva

1.5.1 Co je to barva?

Světlo můžeme zjednodušeně chápat jako elektromagnetické vlnění. Elektromagnetické vlnění obsahuje velké množství vlnových délek. A právě vlnová délka určuje u viditelného světla jeho barvu. Jednotlivé vlny různých délek od sebe nejsou nijak odděleny, ale naopak na sebe spojitě navazují, proto mluvíme o tzv. spektru.



Obrázek 1.3: Rozdělení světla podle vlnové délky - převzato z [5]

1.5.2 Rozdělení světla podle vlnové délky

Jednotkou vlnové délky je nejčasteji nm (nanometr). Vlnění podle vlnové délky rozdělujeme na záření rozhlasové, infračervené, viditelné, ultrafialové, rentgenové a kosmické (viz. obrázek č. 1.3). Viditelné světlo je souhrn světelných vln o různých vlnových délkách rozsahu od 380 až 740 nm.

1.5.3 Rozklad světla hranolem



Obrázek 1.4: Rozklad světla hranolem - převzato z [10]

Jednotlivé barevné složky světla můžeme pozorovat pomocí jednoduchého pokusu, kdy mezi zdroj světla a skleněný trojboký hranol postavíme překážku s úzkou štěrbinou tak, že světlo prochází štěrbinou přímo do hranolu, ve kterém se světlo dvakrát láme. Při prvním zlomení na průchodu vzduch-sklo dochází k tzv. chromatické disperzi. Jednotlivé barevné složky bílého světla se lámou pod různými úhly. Díky tomu se bílé světlo rozloží na jednotlivé barevné složky viz. obrázek 1.4. Při druhém zlomu na průchodu sklo-vzduch se chromatická disperze zesílí. Efekt je pak lépe viditelný.

1.5.4 Rozdělení viditelného světla podle vlnové délky

Nejkratší vlnová délka je pro fialovou barvu (380 nm) a nejdelší pak pro červenou část spektra (740 nm). V případě, že jsou všechny složky zastoupeny ve spektru (obr. 1.5) stejnou a maximální měrou, je světlo vnímáno jako jasně bílé, či v opačném případě při zastoupení složek s minimální měrou pak jako temně černé.



Obrázek 1.5: Spektrum viditelného světla - převzato z [10]

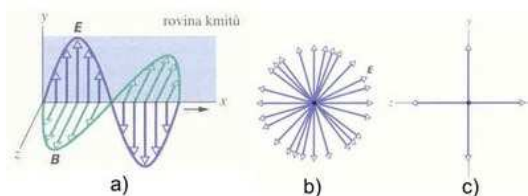
Barva	Vlnová délka (nm)	Frekvence (THz)
červená	625-740	480-405
oranžová	590-625	510-480
žlutá	565-590	530-510
zelená	520-565	580-530
azurová	500-520	600-580
modrá	430-500	700-600
fialová	380-430	790-700

Tabulka 1.1: Vlnová délka a frekvence světla různé barvy

1.5.5 Barva objektu

Barva objektu je dána především fyzikálními vlastnostmi objektu. Konkrétně se jedná o schopnost pohlcovat a odrážet světlo dané vlnové délky. Pokud tedy dopadne na objekt čisté bílé světlo, objekt některé barevné složky pohltí a ostatní barevné složky odrazí zpět. Pozorovatel vnímá pouze světlo od objektu odražené. Prakticky můžeme říci, že objekt má barvu světla, které odráží.

1.6 Polarizace světla



Obrázek 1.6: Ukázka polarizace světla - převzato z [5]

Jak již bylo zmíněno, světlo si lze představit jako elektromagnetické vlnění. U elektromagnetického vlnění na sebe navzájem kolmo kmitají dva vektory. Jedná se o vektor elektromagnetické intenzity E a magnetické indukce B (obr. 1.6 a)). Oba dva vektory jsou navíc kolmé k vektoru, určujícím směr šíření světla. Rovina kmitání se neustále mění (obr. 1.6 b)). Pokud u světla výrazně jedna z rovin kmitání převažuje, jedná se o tzv. částečně polarizované světlo. Pokud však světlo kmitá v jedné rovině neustále, jedná se o plně polarizované nebo dokonale polarizované světlo (obr. 1.6 c)). Polarizované světlo vznikne z přirozeného při odrazu na rovinných zrcadlicích plochách. Nejčastěji dochází k polarizaci pomocí odrazu, lomu a dvojlomu. Polarizace je ve fotografii důležitá u tzv. po-

larizačních filtrů, které je nutné použít při fotografování jakéhokoliv předmětu, jehož lesk by působil rušivě, jako např. vodní hladina, výkladní skříň apod.

1.7 Čočky



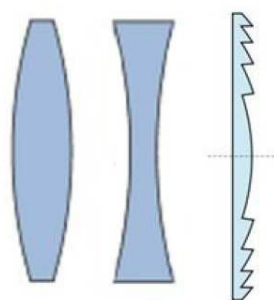
Obrázek 1.7: Čočky - převzato z [10]

Princip tvorby obrazu objektivem je založen na zobrazování pomocí čoček (obr. 1.7). Využívá se zde jevu zvaného lom (refrakce). Čočka je průhledné těleso, které má většinou buď jednu nebo dvě strany tvořené kulovými plochami, jejichž osy splývají.

1.7.1 Materiál

Čočku lze vyrobit z libovolného průhledného materiálu. Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu čoček je čiré sklo. Kromě skla lze dále použít plasty a jiné průhledné látky. U čoček je důležitou charakteristikou tzv. absolutní index lomu n . Ten vyjadřuje poměr mezi rychlostí šíření světla ve vakuu a v čočce.

1.7.2 Druhy čoček



Obrázek 1.8: Druhy čoček: spojná, rozptylná, speciální (Fresnelova) - převzato z [10]

Čočky jsou ve většině případů kulové - tzn. že jedna nebo obě strany čočky jsou tvořeny kulovými plochami.

Čočky dělíme na tři základní kategorie:

1. spojné čočky
2. rozptylné čočky
3. speciální čočky

Spojné čočky mění rovnoběžný svazek paprsků vstupujících do čočky na sbíhavý. V důsledku toho se paprsky za čočkou protínají v tzv. ohnisku. Obraz poskytnutý spojnou čočkou označujeme jako skutečný. Na první pohled lze spojné čočky poznat tak, že jsou uprostřed silnější než na krajích - jsou vypouklé.

Rozptylné čočky mění rovnoběžný svazek paprsků vstupujících do čočky na rozbíhavý. V důsledku toho se paprsky zdánlivě protínají před čočkou. Obraz poskytnutý rozptylnou čočkou proto označujeme jako zdánlivý. Na první pohled lze rozptylné čočky poznat tak, že jsou na krajích silnější než uprostřed - jsou vyduté.

Speciální čočky jako např. asférické čočky, které jsou tvořeny jinou než kulovou plochou (např. parabolitickou) či jiné netypické čočky sloužící ke zvláštním účelům.

1.8 Charakteristiky objektivů



Obrázek 1.9: Objektiv jako soustava čoček - převzato z [10]

Objektiv, neboli soustava čoček, se charakterizuje pomocí několika vlastností. Pomocí nich určujeme, který objektiv je k čemu vhodný, a také porovnáváme jednotlivé objektivy navzájem. Jsou to ohnisková vzdálenost, optická mohutnost, světelnost, hloubková ostrost a zorný úhel.

1.8.1 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost je vzdálenost čočky nebo zakřiveného zrcadla od jejich ohniska. Ohnisková vzdálenost u objektivu určuje horizontální šířku záběru v určité vzdálenosti. Na ohniskové vzdálenosti objektivu tedy je závislá velikost obrazu.

1.8.2 Optická mohutnost

Jedná se o převrácenou hodnotu ohniskové vzdálenosti. Asi nevhodnějším samovysvětlovacím názvem by byl lámavost čočky. Jedná se o míru, jak moc čočka láme paprsky světla. Objektiv, který má silnou optickou mohutnost, paprsky silně láme. Z toho plyne, že má malou ohniskovou vzdálenost.

1.8.3 Světelnost a clona

Pro vysvětlení světelnosti je třeba nejprve uvést pojmy jas a osvětlení obrazu. Jas je svítivost dělená plochou. Dále pak světelný tok dopadající na plošku objektivu na ní vytvoří osvětlení obrazu. A právě poměr osvětlení obrazu a jasu určuje světelnost objektivu. Clona je zařízení zužující svazek paprsků jdoucí do objektivu tím, že zmenšuje průměr vstupního otvoru. Světelnost je závislá na velikosti nastavené clony. Největší množství světla může do objektivu vstupovat, když necloníme vůbec.

1.8.4 Hloubková ostrost

Jedná se o schopnost objektivu vykreslit ostře i objekty ležící v určitém rozmezí kolem zaostřené vzdálenosti. Převzato z [15]

1.8.5 Zorný úhel

Zorný úhel je úhel krajních paprsků, které ještě vstupují do objektivu. Zorné pole je část prostoru vymezená právě zorným úhlem. Převzato z [14]

Kapitola 2

Vady čoček a objektivů

Objektiv, neboli soustava čoček je velmi složité zařízení. I když je základní teoretický model objektivu jednoduchý, dnešní objektivy obsahují kromě základních i mnoho podpůrných a korekčních čoček. Seběmenší nepřesnost v umístění čočky nebo vada materiálu se potom projeví na výsledné fotografii.

2.1 Barevné vady

Barevné vady se vyznačují tím, že celá fotografie nebo některá její část mají nesprávnou nebo nepřírozenou barvu. Mezi typicky barevné vady patří monochromatická vada, chromatická aberace nebo ztráta barevných složek u podvodních fotografií.

2.1.1 Monochromatická vada



Obrázek 2.1: Monochromatická vada

Monochromatická vada bývá často také označovaná jako vada spektrální propustnosti. U objektivů způsobujících monochromatickou vadu bude mít výsledná fotografie barevně odlišný obraz - jiné odstíny barev než má fotografovaný objekt, nepřírozený barevný nádech celé fotografie apod. Např. na obrázku 2.1 je jasně vidět fotografie s nepřírozeně žlutým

nádechem.

Častou možností, jak může monochromatická vada vzniknout je situace, kdy má materiál čočky pro světla různé vlnové délky různou propustnost. Některé barevné složky jsou tedy do určité míry filtrovány, čímž se mění barvy zachyceného obrazu. Tato situace dala vzniknout názvu vada spektrální propustnosti.

Protože se jedná o materiálovou vadu u jedné nebo více čoček objektivu, nejvíce se projeví u levnějších objektivů. Dražší kvalitnější objektivy bývají vyráběny z takových materiálů, u kterých je výskyt monochromatické vady kompenzován na minimum.

Další typickou situací pro monochromatickou vadu je nesprávné nastavení citlivosti fotoaparátu na bílou barvu. Jsou situace, kdy se ideální bílý světelný bod nezobrazí na senzoru jako ostrý bílý bod. Pokud není bílá barva poskytovaná objektivem správně nakalibrována, může dojít ke zkreslení barev na fotografii - např. všechna bílá místa budou mít lehce modrý nádech apod.

Monochromatickou vadu lze částečně kompenzovat např. pomocí speciálních přídavných barevných filtrů, nebo následným programovým zpracováním v případě digitálních fotografií.

2.1.2 Chromatická aberace



Obrázek 2.2: Chromatická aberace - převzato z [15]

Chromatická aberace se projevuje jako barevná kontura na přechodech mezi velmi světlými a velmi tmavými hranami. Nejčastěji se jedná o jasně fialovou barvu. Zřídka se lze setkat s výskytem jasně zelené, žluté či modré. Např. na obrázku 2.2 lze na přechodu mezi světlým pozadím a tmavými hřbety tučňáků vyskytuje jasně fialová kontura.

Chromatická aberace je způsoběna nestejným lomem světelných paprsků různé vlnové délky na čočce objektivu. Čočka má tudíž pro světelné paprsky různou optickou mohutnost a různou ohniskovou vzdálenost.

Nejvíce se projevuje u ultrazoomových objektivů a zrcadlovek s velkým rozsahem ohniskových vzdáleností, kde je také většinou nejvíce optických členů a lomných ploch. Nejméně častá je u objektivů s pevnou ohniskovou vzdáleností.

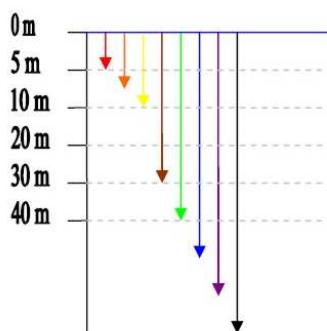
Pro kompenzaci vady lze použít speciální optické prvky s odchylnou disperzní charakteristikou - např. krystaly fluoridu vápenatého. Případně speciálních korekčních čoček vyrobených ze speciálních skel a kombinací různých druhů skel o různém indexu lomu.

2.1.3 Ztráta barevných složek u podvodních fotografií



Obrázek 2.3: Ztráta barevných složek u podvodních fotografií

Ztráta barevných složek se u podvodních fotografií projeví jako namodralé fotografie, ve kterých nenajdete žádný odstín červené a žluté barvy. Pokud vám při fotografování pestrobarevného útesu vyjdou modrošedé fotografie, je to způsobeno efektem ztráty barevných složek u podvodních fotografií. Např. na obrázku č. 2.3 je vyfotografována jasně červená hvězdička na bílém pozadí.



Obrázek 2.4: Ztrátovost světelných paprsků různé vlnové délky pod hladinou

Při průchodu světelných paprsků ze vzduchu do vody dochází ke ztrátě části světelné energie. Příčinou je částečný odraz světla na hladině. Míra odrazu je závislá na úhlu dopadu světla na vodní hladinu. Proto jsou nejlepší světelné podmínky kolem poledne, kdy je slunce na obloze nejvýše. Naopak teoreticky nejhorší podmínky pro potápění jsou v situacích, kdy je slunce nejblíže k obzoru, čili ráno a večer. Tehdy paprsky dopadají na hladinu pod velmi

ostrým úhlem a od hladiny se odráží velké množství světla, které by jinak proniklo do vody. Vodou proniká světlo mnohem hůře než vzduchem. Světelná energie, pronikající vodou, se vytrácí mnohem rychleji a narozdíl od pronikání vzduchem nerovnoměrně. Bílé světlo se skládá ze složek elektromagnetického záření, z nichž každá má jinou vlnovou délku. Různé vlnové délky odpovídají různým barvám. Nejdelsí vlnovou délku má světlo červené barvy, naopak nejkratší vlnovou délku má světlo fialové barvy. Čím větší vlnová délka, tím více je světlo pohlcováno. Tento úbytek postihuje nejvíce červenou, oranžovou a žlutou barvu. Proto se ve větších hloubkách předměty těchto barev jeví jako hnědé či černé. Naopak nejméně jsou postihovány barvy zelená, modrá a fialová. S rostoucí hloubkou však mizí i tyto barvy a postupně se vše jeví modré, fialové a černé. Na obrázku č. 2.4 je znázorněna míra průniků světelných paprsků různé barvy v závislosti na hloubce pod hladinou

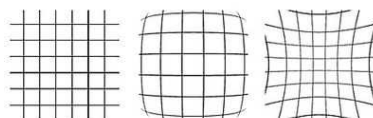
Nejedná se ani tak o vadu objektivu, jako spíše o přirozenou vlastnost chování světla v kapalném prostředí. Řešením pro fotografy je zdroj bílého světla, které obsahuje všechny barevné složky, a proto po nasvícení cílového objektu vyniknou všechny jeho skutečné barvy. Alternativním řešením je přidání korekční předsádky v podobě nejčastěji červeného filtru, který posílí chybějící barevné složky, nejvíce červenou.

2.2 Geometrické vady

2.2.1 Sférická aberace



Obrázek 2.5: Soudkovitá sférická aberace - převzato z [3]



Obrázek 2.6: Druhy sférických aberací: snímek bez aberace, soudkovitá aberace, poduškovitá aberace - převzato z [15]

Jedná se o druh geometrické vady, a sice vadu přenosu přímek, kdy objektiv fotoaparátu zobrazuje veškeré přímky a linie prohnuté. Sférická aberace je většinou nepostřehnutelná u běžných snímků. Nejvíce vadí u fotografií architektury a interiérů, u kterých se jinak rovné zdi zobrazují nepřírodně prohnuté. Je nepříjemná i u snímků moře a jezer, kde se

vodní hladina zobrazí nepřírozně vzedmutá.

Světelné paprsky se při průchodu objektivem na okrajích čočky objektivu lámou více, než poblíž optické osy čočky. Vlivem materiálové vady nastane situace, ve které se paprsky dopadající na okraje čočky lámou více, než je vhodné, zatímco paprsky dopadající poblíž optické osy čočky se lámou korektně. Tento jev způsobuje, že fotografované objekty vypadají nepřírozně prohnuté. Rozeznáváme dva hlavní typy sférické aberace - soudkovitou a poduškovitou. U soudkovité aberace je fotografovaný objekt prostorově prohnutý ven, zatímco u poduškovité aberace dovnitř. Sférická aberace roste směrem k okrajům snímku.

Tato vada bývá patrná zejména u širokoúhlých objektivů. Zejména pak u objektivů s velkým rozsahem ohniskových vzdáleností, kde je těžké zajistit, aby přímka vycházející z počátečních bodů fotografie zůstala neprohnutá. Dále je typická u tzv. objektivů typu rybí oko.

Její eliminace je možná opět vhodnou kombinací a tvarem čoček. Soudkovité zkreslení jedné čočky se vykompenzuje poduškovitým zkreslením druhé čočky apod. Alternativní možností je následné programové zpracování.

2.2.2 Perspektivní zkreslení



Obrázek 2.7: Perspektivní zkreslení

Perspektivní zobrazení má za následek zkreslení úhlů např. u fotografií vysokých budov. Perspektivní zobrazení není ani tak vada objektivu, jako spíše přirozená vlastnost objektů pozorovaných v reálném světě. Na lidské oko, stejně jako na čočku fotoaparátu, dopadají paprsky zobrazovaného objektu perspektivně. Perspektivní zobrazení nezachovává úhly, což je velmi nepříjemné u fotografií pravoúhlých objektů, např. domů. V perspektivním zobrazení se objekty, které jsou umístěny dále od pozorovatele, zdají menší, než objekty ležící blíže k rovině pozorovatele. Např. na fotografii č. 2.7 jsou koleje, které vedou samozřejmě rovnoběžně. Vlivem perspektivního zkreslení se zdá, že se v dále protínají.

Protože se jedná o přirozenou vlastnost zobrazení, vyskytuje se u všech druhů objektivů a fotoaparátů. Perspektivní zkreslení je možné kompenzovat následným programovým zpracováním.

2.3 Vady ostrosti obrazu

2.3.1 Nesprávné zaostření



Obrázek 2.8: Ukázka testu hloubky ostrosti - převzato z [15]

Projeví se jako rozmazaná část fotografie. Objektiv se při pořizování snímku zaostří na jednu prostorovou vzdálenost. Ta se většinou určí pomocí tzv. ostřících bodů. U levnějších fotoaparátů je ostřící bod reprezentován obdélníčkem uprostřed fotografie, u modernějších je možné počet a pozice ostřících bodů nastavit dle potřeby. Fotoaparát poté pomocí metody hledání hran najde vhodné zaostření. Je také důležitá tzv. hloubka ostrosti. Jedná se o schopnost objektivu vykreslit ostře i objekty, ležící v určitém rozmezí kolem zaostřené vzdálenosti. Problém nastává, pokud je určitá část objektu prostorově blíže nebo dále než jiná a objektiv má problém zachytit celý objekt ostře viz. obr. č. 2.8.

Vada se vyskytuje u většiny levnějších objektivů. Kvalitnější objektivy bývají vybaveny větší hloubkou ostrosti a možností nastavit tzv. pomocné ostřící body.

2.3.2 Rozmazání pohybujícího se objektu

Způsobeno příliš dlouhým časem závěrky při fotografování příliš rychle se pohybujícího objektu. Část pohybujícího se objektu je pak zachycena několikrát v několika různých pozicích a vznikne poloprůhledné rozmazání. Např. na obrázku č. 2.9 nohy padajícího judisty.

Vada se vyskytuje u většiny levnějších objektivů. Kvalitnější objektivy bývají vybaveny rychlejší závěrkou s možností manuálního nastavení expozičního času.

2.3.3 Nesprávně rozostřené pozadí (bokeh)

Japonským slovem bokeh se označuje způsob, jakým objektiv zobrazí ty části obrazu, které jsou mimo rovinu zaostření. Rozostřené bývá většinou pozadí snímku (třeba u portrétů),



Obrázek 2.9: Rozmazání pohybujícího se objektu



Obrázek 2.10: Bokeh - převzato z [8]

a tak se často mluví o způsobu rozostření pozadí. Bokeh lze hodnotit jen subjektivně - některé objektivy rozostří pozadí jemně a pro oko příjemně, jiné nehezky, flekatě atd - převzato z [15]. Bokeh je velmi důležitý u makrofotografií. Např. nevhodně rozmazané pozadí v podobě bílých kruhů na obr. č. 2.10

Jeho příčinou je ohyb obrazu, který je u rozostřených předmětů ještě výraznější. Jedná se vlastně o rozptylové kroužky jednotlivých předmětových bodů, zvětšujících se s rozostřováním. Jejich vzhled závisí na velkém množství faktorů, nejvíce na konstrukci objektivu, tvaru a počtu lamel. Převzato z [10].

2.3.4 Difrakce

Difrakce neboli ohyb světla je jev pozorovaný při průchodu světla malými otvory, kdy světlo se na hranách otvoru rozptyluje, hrany září a dokonce některé paprsky mohou zdánlivě projít stínítkem. V objektivě takový malý otvor vytvoří silně zavřená clona (zacloněný objektiv), a proto u vysokých clonových čísel řádu $f/22$, $f/32$ či $f/45$ dochází vlivem difrakce k mírnému rozostření obrazu. Převzato z [15].

2.3.5 Kulová vada

Její příčinou je odlišná ohnisková vzdálenost pro různě vzdálené paprsky od optické osy. Svazek paprsků vycházejících z bodu na optické ose čočky (objektivu) se po průchodu čočkou (optickou soustavou) neprotíná přesně v jednom bodě. Paprsky, jdoucí blíže k optické ose (paraxiální paprsky), se po průchodu čočkou protínají v bodě bližším čočce (mají menší ohniskovou vzdálenost a ohnisko blíže ke středu čočky), než paprsky procházející dále od osy blíže k okraji optické soustavy (mají delší ohniskovou vzdálenost a ohnisko dále od středu čočky). Obraz bodu předmětu tak nebude přesně bodový, ale zobrazí se jako neostře ohraničená ploška. Převzato z [10].

2.3.6 Korekce vad ostrosti

Jemně rozmazané fotografie lze opravit pomocí úpravy hodnoty jasu a kontrastu, ale výsledný snímek působí uměle. U více rozmazané fotografie už většinou žádná metoda nepomáhá.

2.4 Ostatní vady

2.4.1 Reflexe v protisvětle



Obrázek 2.11: Reflexe v protisvětle - převzato z [6]

Reflexe v protisvětle je ve fotografických kruzích známá spíše pod svým anglickým názvem „lens flare efekt“. Jedná se o zvláštní, ale velmi častý druh vady, která se vyskytuje při fotografování velmi jasného bodového zdroje světla (nejčastěji Slunce). Výsledná fotografie potom v okolí fotografovaného zdroje světla obsahuje zmléčnění obrazu a naprostou ztrátu jeho kontrastu. Reflexe se může také projevit nepříjemnými odlesky na fotografiích.

Při každém vstupu světla do objektivu, stejně tak jako při výstupu světla ven, se asi 5% světla odrazí zpět. To nejen snižuje množství světla dopraveného na senzor, ale hlavně to může vést k opakovaným odrazům uvnitř těla objektivu nebo mezi jeho zadní čočkou a senzorem.

Vyskytuje se převážně u velké většiny levných a středně levných objektivů. Dražší objektivy výskyt lens flare efektu omezují pomocí speciálních antireflexních vrstev, ale od určitého úhlu se vada vyskytuje i u nejdražších špičkových profesionálních objektivů.

Jedná se o velmi nepříjemnou vadu, kterou lze velmi pracně ručně vyretušovat. Žádný spolehlivý způsob, který by dokonale odstranil výskyt lens flare efektu neexistuje. Většina pokusů končí nepřirozeným umělým vzhledem fotografie.

2.4.2 Vinětace



Obrázek 2.12: Vinětace

Vinětace je negativní efekt, který se projeví ztmavením rohů výsledné fotografie. Nejedná se o přespříliš rušivý efekt. Nejvíce je postřehnutelný na fotografiích s jednobarevným pozadím.

Vlivem většího pohlcení a ztráty světla na okrajích, přírubách čoček a tubusu objektivu dochází v obraze k tmavnutí jednolitě osvětlené plochy k okrajům snímku.

Vinětace se nejčasteji projeví na širokoúhlých objektivěch ve spojení s fotoaparáty s velkým čipem. Zatímco u fotoaparátů s malým čipem dochází k přirozenému automatickému ořezání (část obrazu, na které se vinětace projeví se na malý čip neveleze), u fotoaparátů s velkým čipem se promítne celý obraz včetně vinětovaných rohů. Vinětace je typickou vadou pro ultraširokoúhlé objektivy, které mají ohniskovou vzdálenost menší než 30 mm.

Zabránit se jí dá úpravou čoček, objektivu a jejich uspořádáním. Ovlivňuje ji tedy stavba objektivu a především jeho konstrukční délka. Čím více čoček, tím větší náchylnost k vinětaci.

Kapitola 3

Zvolené korekční metody u vybraných vad

V následujících kapitolách neuvažuji korekci vad pomocí optických členů jako např. přídavné filtry, korekční předsádky apod. v okamžiku pořizování fotografie. Vždy se bude jednat o následné zpracování digitální fotografie poškozené vadou objektivu a o programovou korekci dané vady.

3.1 Vybrané vady

- Chromatická aberace
- Monochromatická vada
- Perspektivní zkreslení
- Sférická aberace
- Vinětace
- Ztráta barevných složek u podvodních fotografií

3.2 Chromatická aberace

Chromatická aberace se nejčastěji vyskytuje na přechodech mezi velmi jasnou a velmi temnou částí fotografie. Velmi často se jedná o hrany. Kontury způsobované chromatickou aberací mají typické odstíny barev ve velmi jasných fosforových nepřírodných odstínech.

Jednou z možností, jak minimalizovat výskyt chromatické aberace na digitálních fotografiích, je vyhledání pixelů, obsahujících „problémové“ barvy, a následná barevná úprava takových pixelů. Tuto metodu jsem také zvolil během implementace korekčního nástroje pro kompenzaci vady chromatické aberace.

Pro korekci chromatické aberace jsem odvodil následující rovnici:

$$P_{(R,B)} = \frac{P_{(R,B)}}{1,5}, \text{ pro } P_{(R)} > 30 \wedge P_{(B)} > 30 \wedge \frac{P_{(R)}}{P_{(B)}} \in \langle 0,8; 1,2 \rangle \wedge \left(\frac{P_{(G)}}{P_{(R)}} < 0,8 \vee \frac{P_{(G)}}{P_{(B)}} < 0,8 \right)$$

$$P_{(R,B)} = P_{(R,B)} \text{ jinde}$$

Pro každý pixel fotografie P_X , kde X je vybraná barevná složka (R, G nebo B). V celé práci uvažuji barevný model RGB, proto používám indexy R pro červenou, G pro zelenou a B pro modrou. Jednotlivé barevné složky mají rozsah hodnot $\langle 0, 255 \rangle$, kde 0 znamená že pixel danou barevnou složku neobsahuje a 255 znamená maximální obsažení dané barevné složky v pixelu.

Metoda tedy vyhledá pixely, obsahující „problémové“ odstíny fialové barvy, pomocí porovnávání hodnot a poměrů hodnot jednotlivých barevných složek s prahovými hodnotami, které byly získány experimentováním s mnoha fotografiemi.

Výhodou je jednoduchost a rychlost metody. Mezi nevýhody patří fakt, že metoda upraví všechny pixely s fialovou barvou. Fotografie fialového předmětu by tedy znehodnotila. Metoda může být v budoucnu rozšířena o detektor hran a přechodů mezi vysokým jasnem a stínem. Aplikace barevné úpravy by se potom týkala pouze těchto vybraných pixelů a ne celé fotografie.

3.3 Monochromatická vada

Monochromatická vada je barevná vada, týkající se většinou celé fotografie. Proto ji lze částečně kompenzovat přidáním aditivních nebo naopak subtraktivních korekčních faktorů x pro každou barevnou složku každého pixelu:

$$\begin{aligned} P_{(R)} &= P_{(R)} + X_{(R)} \\ P_{(G)} &= P_{(G)} + X_{(G)} \\ P_{(B)} &= P_{(B)} + X_{(B)} \end{aligned} \tag{3.2}$$

Přitom je nutné dát pozor, aby hodnoty jednotlivých barevných složek po korekci nepřesáhly maximální hodnotu a nepodtekly pod minimální hodnotu.

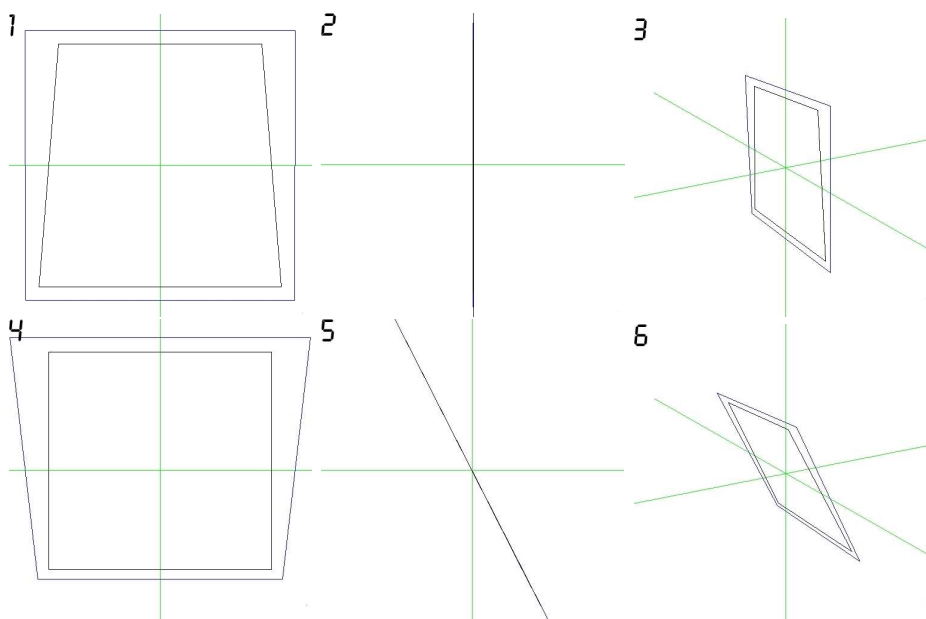
3.4 Perspektivní zkreslení

U perspektivního zkreslení vycházím z předpokladu, že je možné toto zkreslení kompenzovat pomocí další perspektivní projekce při otočení původního obrazu o odpovídající počet stupňů v opačném směru, než je původní zkreslení.

Zvolená metoda využívá základních geometrických transformací objektů v 3D prostoru, jako jsou posun, rotace a perspektivní projekce. Celá fotografie je jakoby promítnuta na



Obrázek 3.1: Ukázka perspektivního zkreslení - převzato z [1]



Obrázek 3.2: Korekce perspektivního zkreslení

obdélník stejné velikosti v prostoru, který má střed umístěný v počátku soustavy souřadnic, a který leží v rovině určené osami x a y . Pomocí vstupních parametrů určujících osu, podle které se bude obdélník otáčet a počet stupňů otočení se nastaví rotační matice. Při zadání ideálních parametrů by mělo po vynásobení rotační a projekční maticí dojít ke korekci perspektivního zkreslení v obraze.

Celý proces budu pro větší názornost demonstrovat na drátovém modelu korekce fotografie výškové budovy s perspektivním zkreslením, jako je např. na obrázku č. 3.1 [1]. Na obrázku č. 3.2 je modrý obdélník, představující fotografii a černý obdélník, představující výškovou budovu. Zelenou barvou jsou znázorněny souřadnicové osy. V částech 1 až 3 je zachycena situace před korekcí, zatímco v částech 4 až 6 je zachycena situace po korekci. Části 1 a 4 zachycují pohled zepředu, části 2 a 5 zachycují pohled z boku a ve zbývajících částech je drátový model natočen tak, aby co nejvíce demonstroval pozici fotografie v prostoru. Jak je na příkladu vidět, původní černý zkosený obdélník představující budovu (část 1) je po korekci „narovnan“ (část 4). Po oříznutí tak dostaneme opravenou fotografii.

3.5 Sférická aberace

Při řešení korekce sférické aberace jsem se inspiroval článkem pana P. Bourke. Vychází z předpokladu, že míru prohnutí lze parametrizovat dvěma hodnotami - hodnotou α_1 pro x-ovou osu a hodnotou α_2 pro y-ovou osu.

V následujících rovnicích jsou α_1 a α_2 korekční koeficienty určující míru prohnutí přímk. x , y jsou souřadnice pixelů na fotografii a $width$ a $height$ jsou rozměry fotografie - šířka a výška. Před použitím algoritmu je nutné normalizovat souřadnice pixelů do čtverce o rozsahu souřadnic $\langle -1, 1 \rangle$ se středem v počátku soustavy souřadnic pomocí rovnice:

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{2 \cdot x - width}{width} \\ P_y &= \frac{2 \cdot y - height}{height} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Pro výpočet je také nutné znát tzv. skalární součin vektoru sama se sebou pro každý pixel:

$$r = P_x^2 + P_y^2 \quad (3.4)$$

Nyní pomocí speciální rovnice získáme pro každý pixel fotografie novou normalizovanou souřadnici. V případě soudkovité sférické aberace se jedná o rovnici:

$$\begin{aligned} P'_x &= P_x \cdot (1 - \alpha_1 \cdot r) \\ P'_y &= P_y \cdot (1 - \alpha_2 \cdot r) \end{aligned} \quad (3.5)$$

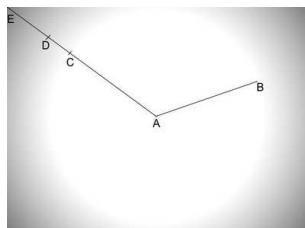
Rovnice pro poduškovitou sférickou aberaci:

$$\begin{aligned} P'_x &= \frac{P_x}{1 - \alpha_1 \cdot \left[\left(\frac{P_x}{1 - \alpha_1 \cdot r} \right)^2 + \left(\frac{P_y}{1 - \alpha_2 \cdot r} \right)^2 \right]} \\ P'_y &= \frac{P_y}{1 - \alpha_2 \cdot \left[\left(\frac{P_x}{1 - \alpha_1 \cdot r} \right)^2 + \left(\frac{P_y}{1 - \alpha_2 \cdot r} \right)^2 \right]} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Z nové normalizované souřadnice odvodíme souřadnici pixelu upravené fotografie.

$$\begin{aligned} x' &= \frac{(P'_x + 1) \cdot width}{2} \\ y' &= \frac{(P'_y + 1) \cdot height}{2} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Pomocí algoritmu vypočítáme pro každý bod nového obrazu odpovídající bod v původním obrazu a získáme tak barevné hodnoty pro každý pixel nového obrazu.



Obrázek 3.3: Korekce vinětace

3.6 Vinětace

U korekce vinětace vycházím z předpokladu, že jsou rohy fotografie ztmavovány exponenciálně. Je třeba stanovit vzdálenost od středu vinětace, od které je vinětace patrná. Korekční metoda poté exponenciálně zesvětluje pixely, ležící od dané vzdálenosti dále. Pro korekci jsem odvodil následující vzorec,

$$P_{(R,G,B)} = P_{(R,G,B)} \cdot \left(1 + \frac{e^{\frac{(d-border) \cdot \ln(bright_{max})}{d_{max}-border}}}{100} \right) \quad (3.8)$$

kde $P_{(R,G,B)}$ je aktuálně zpracovávaný pixel, d je vzdálenost aktuálního pixelu od středu vinětace, d_{max} je maximální vzdálenost od středu vinětace, $bright_{max}$ je koeficient určující míru maximálního zesvětlení během korekce a $border$ je vzdálenost od středu vinětace, od které je vinětace patrná.

Celá situace je zachycena na obrázku č. 3.3. Bod A označuje střed vinětace. Vzdáleností A-B (příp. A-C) rozumíme výše zmíněný $border$. Vzdálenosti A-E odpovídá d_{max} . D je aktuálně korektovaný bod a vzdálenost A-D odpovídá proměnné d ve vzorci.

3.7 Ztráta barevných složek u podvodních fotografií

U podvodních fotografií je typické že nadměru převažuje modrý barevný kanál, zatímto červený a žlutý kanál jsou silně oslabeny nebo chybí úplně.

Řešením může být právě posílení červeného kanálu a současné oslabení modrého kanálu buď rovnoměrně nebo v určitém poměru podle aktuální hodnoty každého pixelu tak, aby se docílilo korekčního efektu, který by byl dostatečný ale současně neumělý a nerušivý. Pro korekci podvodních fotografií jsem odvodil následující vzorec:

$$\begin{aligned} P_{(R)} &= P_{(R)} + depth + 20 \\ P_{(G)} &= P_{(G)} \\ P_{(B)} &= P_{(B)} + (-1) \cdot (depth + 40) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Kde $depth$ je předpokládaná hloubka pod vodou, kde byla fotografie pořízena. Prahové hodnoty byly získány experimentálně.

Kapitola 4

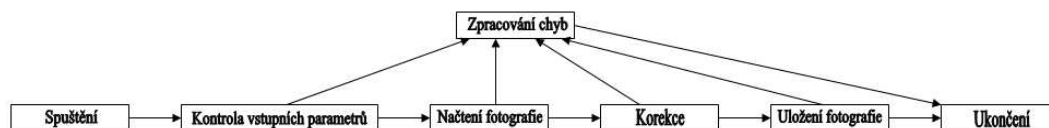
Návrh a implementace korekčního nástroje

4.1 Návrh vnitřní struktury nástroje

Nástroj byl navržen jako sada modulů. Moduly jsou samostatné programy, které mohou být šířeny a používány nezávisle na ostatních. Dohromady tvoří sadu nástrojů pro odstanění vad objektivů z digitálních fotografií. Moduly jsou plně automatické a samostatné - nevyžadují žádný zásah ze strany uživatele. Pracují pouze se vstupními parametry zadanými na příkazové řádce. Dále jsou všechny moduly, kromě zobrazovacího, navrženy jako konzolové aplikace bez grafického uživatelského rozhraní. Toto chování je výhodné, protože mohou být moduly díky své jednoduchosti a samostatnosti využívány ve skriptech nebo dávkových souborech. Rovněž mohou být instalovány na servery a terminály, komunikující pouze pomocí textového rozhraní.

4.2 Návrh vnitřní struktury korekčního modulu

U všech korekčních modulů je nutné nejdříve provést validaci vstupních parametrů. Poté je načtena vstupní fotografie a provedena příslušná korekce. Nakonec je výsledná fotografie uložena do příslušného souboru a činnost modulu je ukončena. V případě výskytu libovolné chyby vypíše chybová knihovna příslušné chybové hlášení a činnost modulu je ukončena. Diagram struktury korekčního modulu je znázorněn na obrázku č. 4.1.

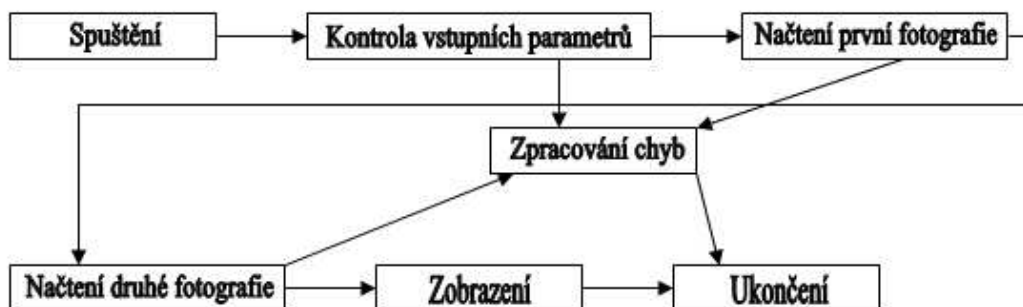


Obrázek 4.1: Návrh struktury korekčního modulu

4.3 Návrh vnitřní struktury zobrazovacího modulu

U zobrazovacího modulu je nutné nejdříve provést validaci vstupních parametrů. Poté jsou načteny vstupní fotografie a případný popis. Nakonec je vše zobrazeno uživateli a modul

čeká na žádost o ukončení ze strany uživatele. Diagram struktury korekčního modulu je znázorněn na obrázku č. 4.2.



Obrázek 4.2: Návrh struktury zobrazovacího modulu

4.4 Volba implementačního jazyka

Pro implementaci modulů jsem zvolil programovací jazyk C++ s podporou pomocných knihoven CImg a Imagemagick pro jejich přenositelnost mezi operačními systémy na úrovni zdrojových kódů a jejich vzájemnou kompatibilitu.

4.5 Podporované operační systémy

Nástroj byl implementován a testován pod operačními systémy Linux Kubuntu 7.10 a MS Windows XP. Byl navržen tak, aby mohl být bezproblémově zkompileován a používán i v jiných kompatibilních systémech, které obsahují překladač jazyka C++ a knihovnu CImg pro kompilaci, a knihovnu Imagemagick pro kompilaci a používání.

4.6 Přehled implementovaných modulů

Sada se skládá ze sedmi korekčních a jednoho zobrazovacího modulu:

Modul	popis
chromaber	modul pro korekci chromatické aberace
display	zobrazovací modul
monochrom	modul pro korekci monochromatické vady
perspective	modul pro korekci perspektivního zkreslení
rotate	modul pro korekci otočení fotografie
sphericaber	modul pro korekci sférické aberace
uwcorrect	modul pro korekci podvodních fotografií
vignette	modul pro korekci vinětace

Kapitola 5

Zhodnocení výsledků korekčního nástroje

5.1 Porovnání s existujícími programy na úpravu fotografií

Výsledky jednotlivých modulů byly porovnány s výsledky poskytnutými následujícími programy pro úpravu fotografií:

PTLens 8.6 je specializovaný nástroj zabývající se odstraňováním vad objektivů z digitálních fotografií. Zaměřuje se na odstraňování vad sférických aberací, chromatické aberace, vinětace a perspektivního zkreslení.

Adobe Photoshop 9.0 je jeden z nejkvalitnějších a nejoblíbenějších grafických editorů na trhu. Jedná se o všeobecně zaměřený grafický editor, velmi oblíbený zejména u fotografů díky mnoha různým možnostem a funkcím, které nabízí.

Corel PHOTO-PAINT 12 také velmi oblíbený a rozšířený grafický editor s všeobecným zaměřením. Jeden z mála programů, které jsou kvalitou a oblíbeností mohou konkurovat Photoshopu od Adobe. Výhodou proti výše zmíněnému Photoshopu je hlavně jednodušší ovládání, což potěší zejména začínající uživatelé.

5.2 Způsob hodnocení

Kvalita úprav byla hodnocena na základě subjektivního dojmu autora po shlédnutí výsledných fotografií. Hlavními kritérii byly míra odstranění dané vady, vliv na ostatní části fotografie a přirozenost vzhledu výsledné fotografie.

5.3 Výsledky testování:

V testu korekce chromatické aberace dosáhl nejlepších výsledků program Corel PHOTO-PAINT. Program Adobe Photoshop a modul chromaber dosáhly velmi podobného výsledku. Nejhůře dopadl modul PTLens. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.10 v příloze 2.

V testu korekce monochromatické vady dosáhl nejlepších výsledků program Adobe Photoshop. Program Corel PHOTO-PAINT a modul chromaber dosáhly velmi podobného výsledku. Program PTLens nebyl testován, protože neobsahuje funkce pro korekci monochromatické vady. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.11 v příloze 2.

V testu korekce perspektivního zkreslení dosáhly všechny programy dobrých výsledků. Program PTLens a modul perspective dosáhly velmi podobného výsledku. Zajímavý výsledek poskytl program Corel PHOTO-PAINT, u kterého jako u jediného nedošlo k ořezu části fotografie důsledkem korekce. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.12 v příloze 2.

V testu korekce rotace fotografie dosáhly všechny programy téměř shodných výsledků, které se lišily v podstatě jen barvou pozadí nevyužitých míst fotografií. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.13 v příloze 2.

V testu korekce soudkovité sférické aberace dosáhl nejlepšího výsledku modul sphericaber. Jen o něco málo horší výsledek poskytl program PTLens. Programy Adobe Photoshop a Corel PHOTO-PAINT dosáhly velmi podobného výsledku. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.14 v příloze 2.

V testu korekce poduškovité sférické aberace dosáhl nejlepšího výsledku program PTLens. Jen o něco málo horší výsledek poskytl modul sphericaber. Programy Adobe Photoshop a Corel PHOTO-PAINT dosáhly velmi podobného výsledku. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.15 v příloze 2.

V testu korekce podvodních fotografií dosáhl nejlepších výsledků modul uwcorrect. Program PTLens nebyl testován, protože neobsahuje funkce pro korekci podvodních fotografií. Programy Adobe Photoshop a Corel PHOTO-PAINT dosáhly velmi podobného výsledku. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.16 v příloze 2.

V testu korekce vinetace dosáhl nejlepších výsledků modul vignette. Ostatní programy dosáhly dobrého, velmi podobného výsledku. Při korekci modulu vignette však nedošlo narozdíl od ostatních programů k větší barevné změně fotografie v podobě celkového zesvětlení či změny barevného nádechu fotografie. Výsledné fotografie po korekci jednotlivými programy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.17 v příloze 2.

5.4 Celkové zhodnocení

Program PTLens si nejlépe poradil s korekcemi sférických aberací a rotací. Je tedy vhodný spíše pro korekci geometrických vad. Programy Adobe Photoshop a Corel PHOTO-PAINT poskytují všeobecně dobré výsledky. Korekční moduly poskytují nejlepší výsledky zejména při korekci soudkovité sférické aberace, korekci podvodních fotografií a korekci vinetace. Je to nejspíše způsobeno specializací modulů na jednotlivé vady, zatímto výše zmíněné programy jsou obecně použitelné univerzální grafické editory.

Závěr

Mezi hlavní cíle této bakalářské práce patřilo nastudování problematiky běžných vad objektivů fotografických přístrojů, příčin jejich vzniku a možností jejich odstranění. Dále pak implementování algoritmů k odstranění vad objektivů z digitálních fotografií u vybraných vad při následném softwarovém zpracování.

V teoretické části jsem se snažil čtenářům přiblížit základy fotografické optiky a umožnit jim tak lépe pochopit danou problematiku. Dále jsem se věnoval popisu jednotlivých objektivových vad.

Praktickou částí této práce bylo navržení a implementace algoritmů určených pro korekci vybraných objektivových vad. U rozhodování, které vady vybrat pro podrobnější nastudování a následné implementování nástroje pro jejich odstranění, jsem vybíral ty nejčastěji se vyskytující a nejvíce typické z každé kategorie. Korekční nástroj byl navržen a implementován s ohledem na přenositelnost a použitelnost.

V budoucnu je možné práci rozšířit o korekční moduly pro další objektivové vady, o grafické uživatelské rozhraní komunikující s jednotlivými moduly a umožňující pohodlnější editaci parametrů pomocí posuvníků.

Literatura

- [1] Ian Britton. Photograph of a skyscraper, 2001. URL:
<http://www.freefoto.com/preview/11-03-2?ffid=11-03-2>.
- [2] Dušan Dobeš. *Přístrojové potápění - praktická příručka pro každého potápěče*. CP Books, 2005. ISBN 80-251-0700-0.
- [3] Dave Dyer. Wide angle adapters for digital cameras. URL:
<http://www.andromeda.com/people/ddyer/photo/wideangle.html>.
- [4] Peter Fir. Canon 17-40 f4 l. URL:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Canon.17-40.f4.L.lens02.jpg>.
- [5] David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker. *Fyzika*. VUTIUM and PROMETHEUS Praha, 2003. ISBN 80-214-1868-0 (VUTIUM) and ISBN 81-7196-213-9 (PROMETHEUS).
- [6] Hustvedt. Cctv lens flare. URL:
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CCTV_Lens_flare.jpg.
- [7] Ibrahim Iujaz. Cloud in the sunlight. URL:
http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Cloud_in_the_sunlight.jpg.
- [8] Mike Johnston. Bokeh in pictures, 2004. URL:
<http://www.luminous-landscape.com/columns/sm-04-04-04.shtml>.
- [9] Heinz Käsinger and Paul W. Munzinger. *Šnorchlování*. KOPP, 2002. ISBN 80-7232-230-3.
- [10] Jan Libich. Základní kámen každého foťáku. jak vzniká obraz v objektivu, 2007. URL: http://technet.idnes.cz/zakladni-kamen-kazdeho-fotaku-jak-vznika-obraz-v-objektivu-pan-/tec_foto.asp?c=A071025_103506_tec_foto_jlb.
- [11] Petr Lindner, Miroslav Myška, and Tomáš Tůma. *Velká kniha digitální fotografie*. Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0013-8.
- [12] Karel Novotný. Skyscraper, 2006. URL:
<http://www.humanart.cz/fotografie-136-skyscraper.html?a=38&r=2&u=>.
- [13] Jean-Michel Oyhenart and Patrick Mioulane. *Potápění - Vášeň a profese*. Universum, 2001. ISBN 80-242-1168-8.
- [14] Jana Pachlová. *Základy fotografické optiky*. Praha, 1971.

- [15] Pihan Roman. Objektivy, jak vybrat a používat - 2. potíže objektivů, 2006. URL: http://www.fotografvani.cz/art/tech_vybirame_jak/rom_lenses2.html.
- [16] Wim van Dam. pincushion distortion at 40mm of my 18-135mm. URL: <http://picasaweb.google.com/wim.van.dam/DistortionOn18135mm/photo#5090851699932160306>.
- [17] Wikipedia. free encyclopedia, 2008. URL: <http://www.wikipedia.org/>.

Seznam příloh

- Příloha č. 1 - Ukázka použití jednotlivých modulů
- Příloha č. 2 - Porovnání výsledků modulů s profesionálními programy
- Příloha č. 3 - Programová dokumentace
- Příloha č. 4 - Popis struktury přiloženého CD
- Příloha č. 5 - Přiložené CD

Příloha č. 1 - Ukázka použití jednotlivých modulů

Úvod

Nyní budu demonstrovat použití jednotlivých modulů pro korekci vzorových testovacích fotografií, uložených na přiloženém CD.

Vzorové fotografie

Vzorové fotografie jsou přiloženy na výsledném CD ve adresáři Vzorové fotografie

Popis vzorových fotografií

tutorial1.jpg	Vzorová fotografie pro korekci chromatické aberace převzato z [15]
tutorial2.jpg	Vzorová fotografie pro korekci monochromatické vady
tutorial3.jpg	Vzorová fotografie pro korekci perspektivního zkreslení převzato z [12]
tutorial4.jpg	Vzorová fotografie pro korekci rotace
tutorial5.jpg	Vzorová fotografie pro korekci soudkovité sférické aberace převzato z [3]
tutorial6.jpg	Vzorová fotografie pro korekci poduškovité sférické aberace převzato z [16]
tutorial7.jpg	Vzorová fotografie pro korekci podvodních fotografií
tutorial8.jpg	Vzorová fotografie pro korekci vinětace

Ukázka použití modulů

Nejprve je třeba zkopírovat přeložené binární soubory s korekčními moduly a vzorové fotografie z přiloženého CD na pevný disk nebo jiné zapisovatelné médium. Je nutné mít v systému nainstalovánu podporu Imagemagick. Pro spuštění je dále nutné si nejdříve otevřít textovou příkazovou řádku - např. shell pod systémem Linux nebo MS-DOS Prompt v systému MS Windows. Pro použití jednotlivých modulů lze použít následující příkazy:

Chromatická aberace:

```
chromaber tutorial1.jpg -o vysledek1.jpg
```

Monochromatická vada:

```
monochrom tutorial2.jpg -o vysledek2.jpg -r -20 -g -20 -b 30
```

Perspektivní zkreslení:

```
perspective tutorial3.jpg -o vysledek3.jpg -50 0
```

Rotace:

```
rotate tutorial4.jpg -o vysledek4.jpg 7 -ccw
```

Soudkovitá sférická aberace:

```
sphericaber tutorial5.jpg -o vysledek5.jpg -barrel 50 30
```

Poduškovitá sférická aberace:

```
sphericaber tutorial6.jpg -o vysledek6.jpg -pincushion 20 20
```

Ztráta barevných složek u podvodních fotografií:

```
uwcorrect tutorial7.jpg -o vysledek7.jpg 40
```

Vinětace:

```
vignette tutorial8.jpg -o vysledek8.jpg 70 0 0 150
```

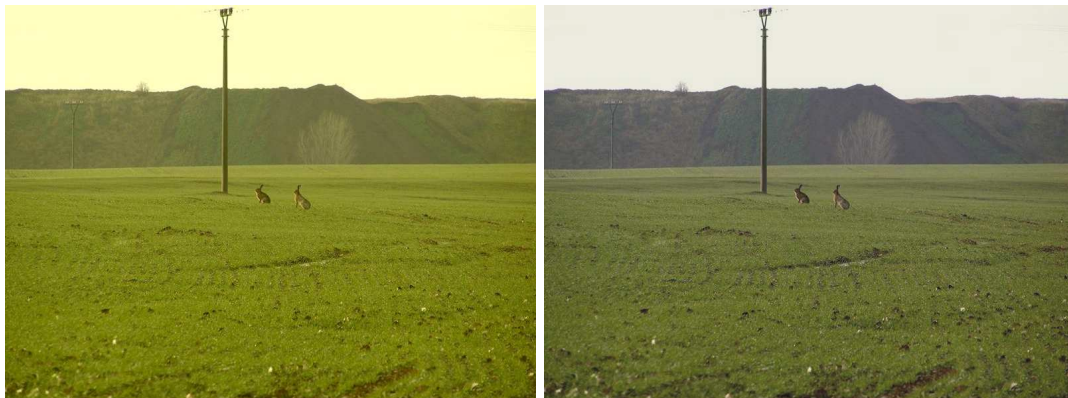
Zobrazovací modul:

```
display tutorial1.jpg tutorial2.jpg -d Testovani
```

Výsledky vzorových příkladů - fotografie před a po korekci



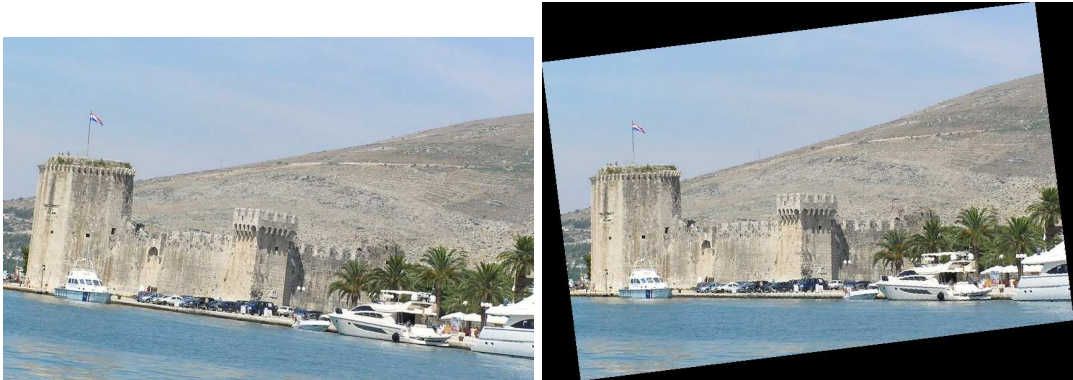
Obrázek 5.1: Ukázka vzorového příkladu na korekci chromatické aberace



Obrázek 5.2: Ukázka vzorového příkladu na korekci monochromatické vady



Obrázek 5.3: Ukázka vzorového příkladu na korekci perspektivního zkreslení



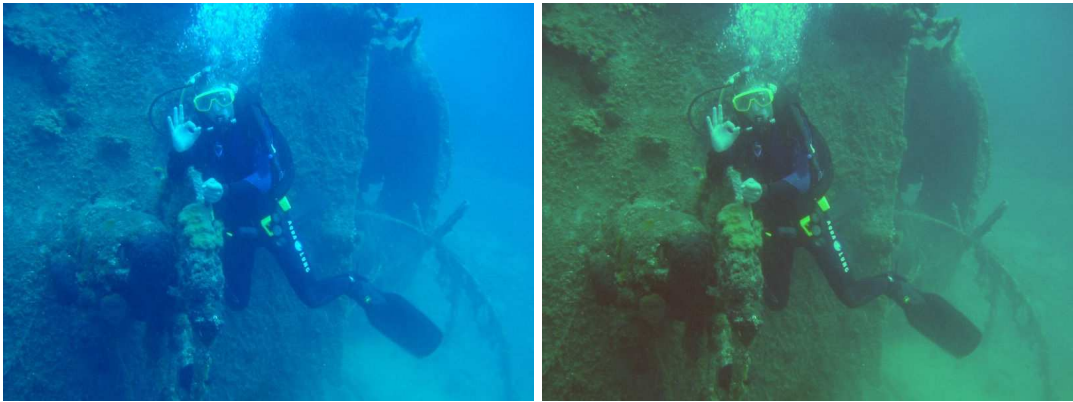
Obrázek 5.4: Ukázka vzorového příkladu na korekci rotace



Obrázek 5.5: Ukázka vzorového příkladu na korekci soudkovité sférické aberace



Obrázek 5.6: Ukázka vzorového příkladu na korekci poduškovité sférické aberace



Obrázek 5.7: Ukázka vzorového příkladu na korekci podvodních fotografií



Obrázek 5.8: Ukázka vzorového příkladu na korekci vinětace



Obrázek 5.9: Ukázka vzorového příkladu na zobrazovací modul

Příloha č. 2 - Porovnání výsledků modulů s profesionálními programy

Chromatická aberace

Legenda k obrázku č. 5.10:

- část 1 původní obrázek - převzato z [15]
- část 2 obrázek po korekci modulem chromaber
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Monochromatická aberace

Legenda k obrázku č. 5.11:

- část 1 původní obrázek
- část 2 obrázek po korekci modulem monochrom
- část 3 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 4 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Perspektivní zkreslení

Legenda k obrázku č. 5.12:

- část 1 původní obrázek - převzato z [12]
- část 2 obrázek po korekci modulem perspective
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Rotace fotografie

Legenda k obrázku č. 5.13:

- část 1 původní obrázek
- část 2 obrázek po korekci modulem rotate
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Soudkovité sférické zkreslení

Legenda k obrázku č. 5.14:

- část 1 původní obrázek - převzato z [3]
- část 2 obrázek po korekci modulem sphericaber
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Poduškovité sférické zkreslení

Legenda k obrázku č. 5.15:

- část 1 původní obrázek - převzato z [16]
- část 2 obrázek po korekci modulem sphericaber
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Korekce podvodních fotografií

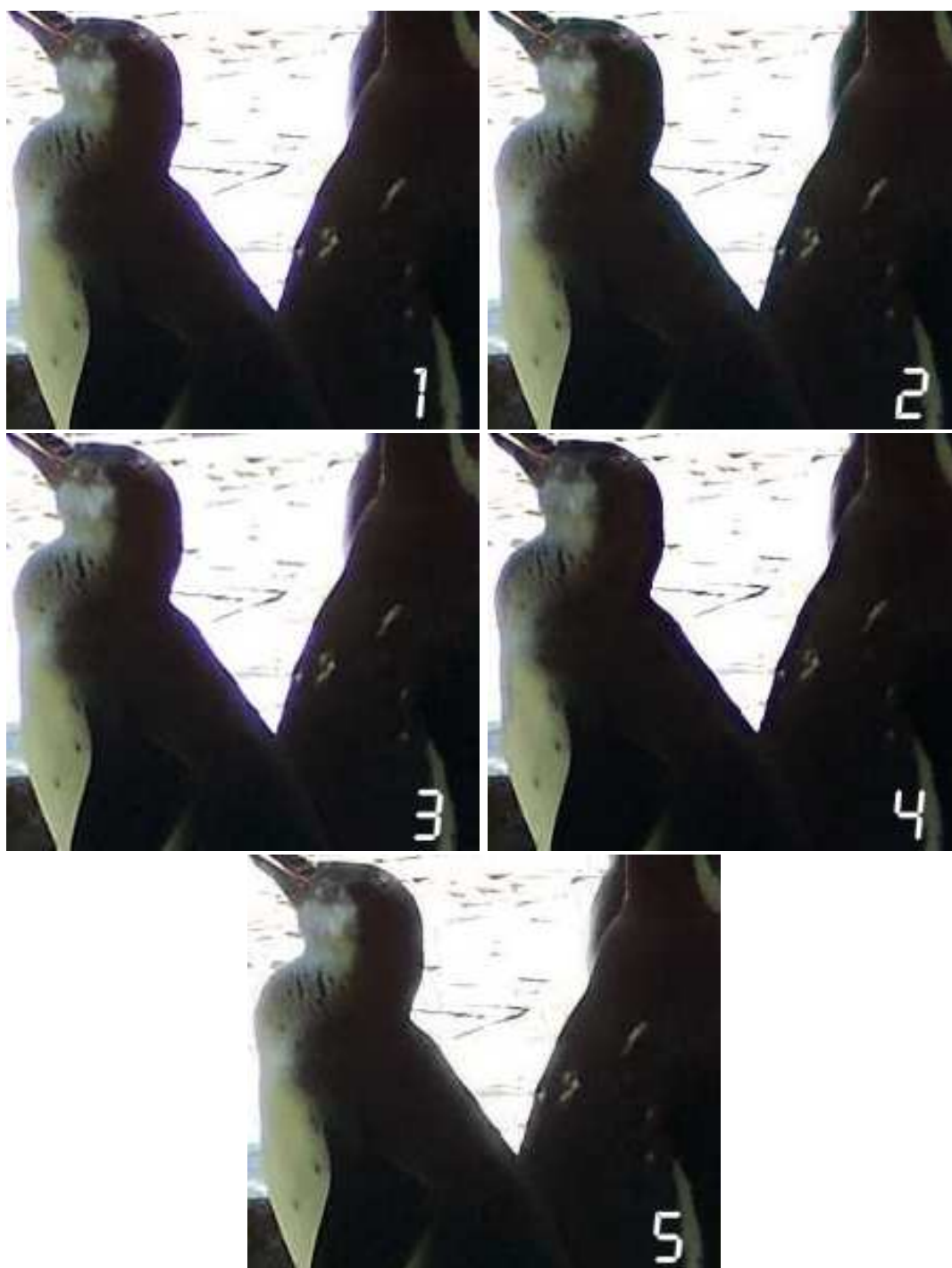
Legenda k obrázku č. 5.16:

- část 1 původní obrázek
- část 2 obrázek po korekci modulem uwcorrect
- část 3 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 4 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT

Vinětace

Legenda k obrázku č. 5.17:

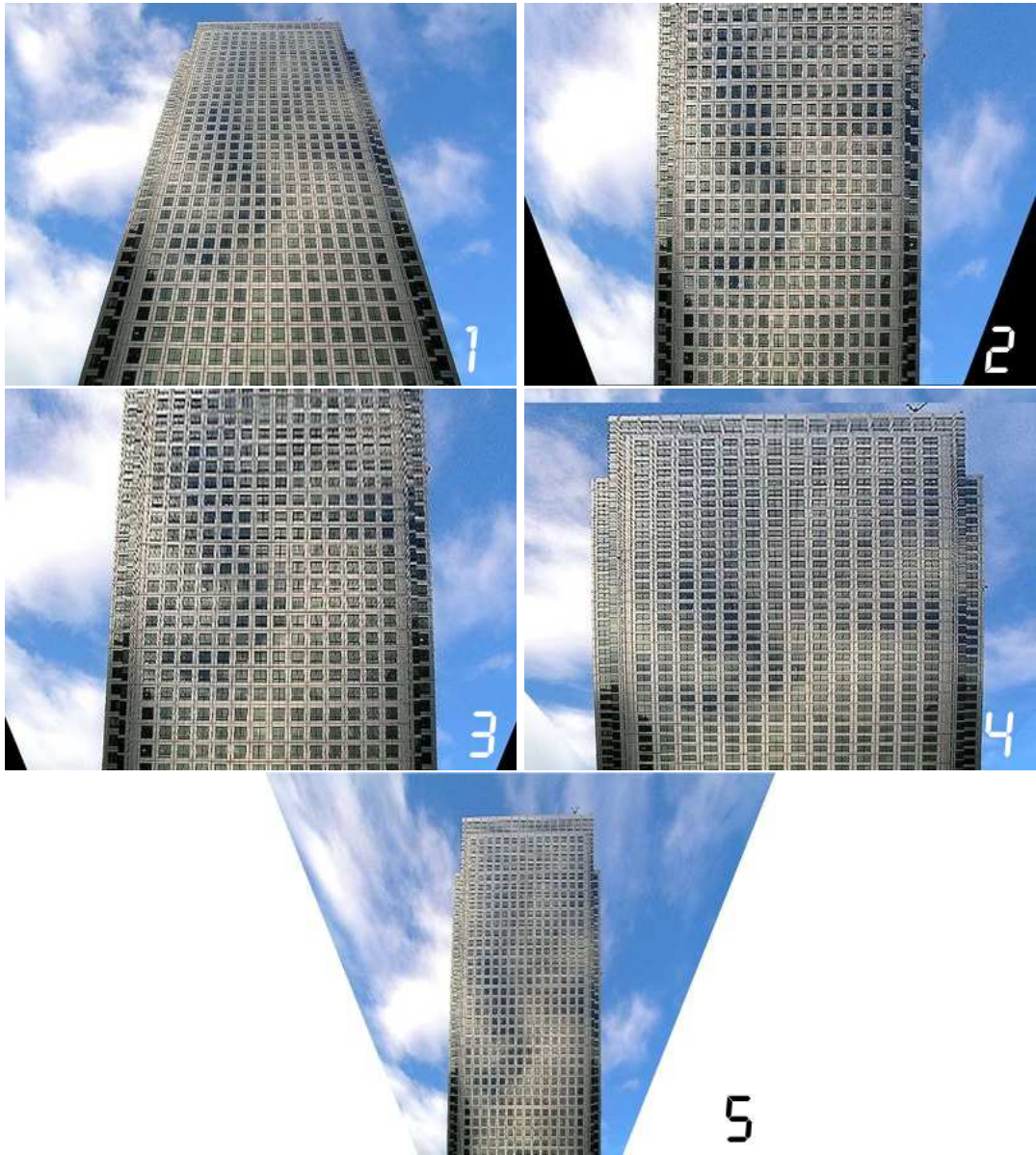
- část 1 původní obrázek
- část 2 obrázek po korekci modulem vignette
- část 3 obrázek po korekci programem PTLens
- část 4 obrázek po korekci programem Adobe Photoshop
- část 5 obrázek po korekci programem Corel PHOTO-PAINT



Obrázek 5.10: Ukázka korekce chromatické aberace



Obrázek 5.11: Ukázka korekce monochromatické vady



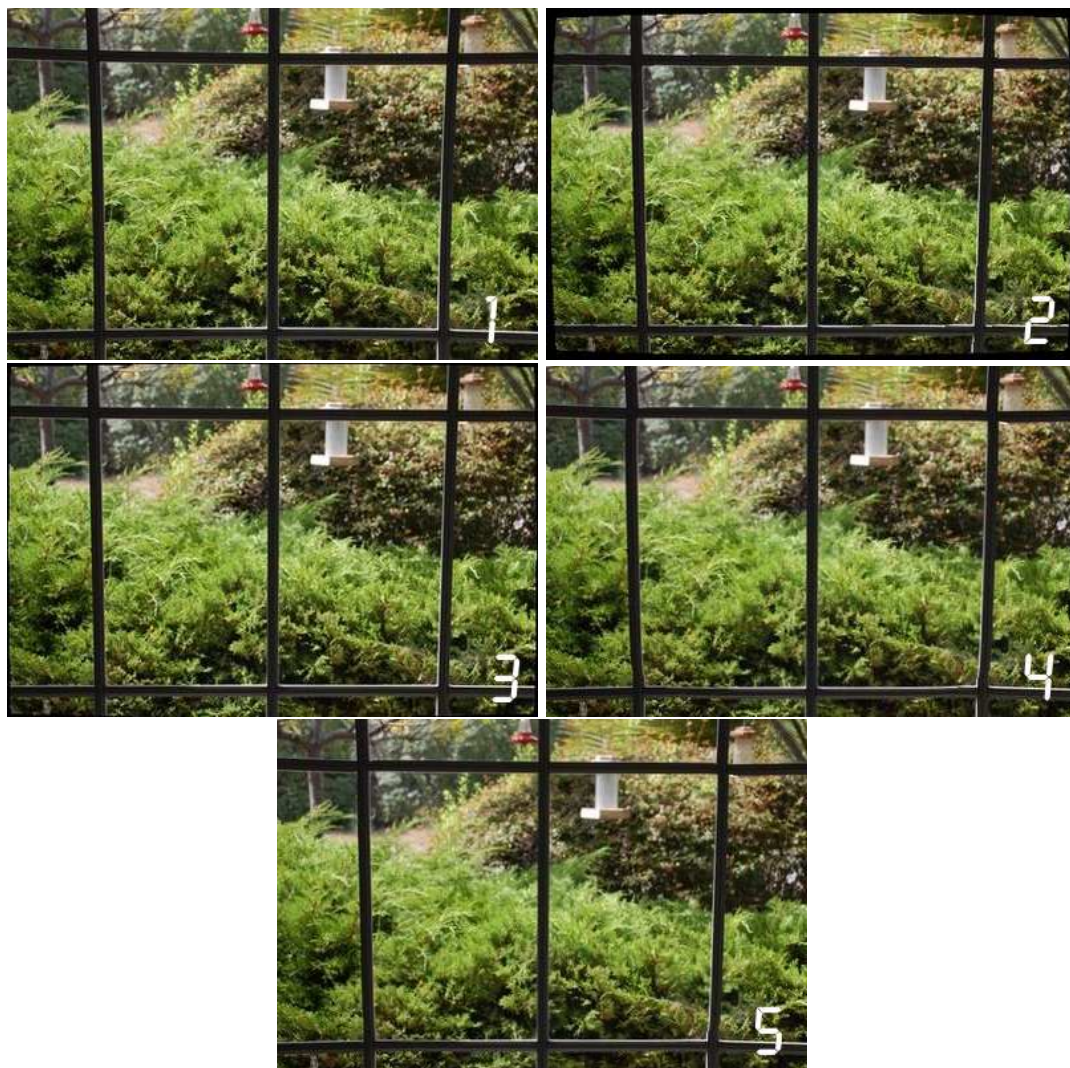
Obrázek 5.12: Ukázka korekce perspektivního zkruslení



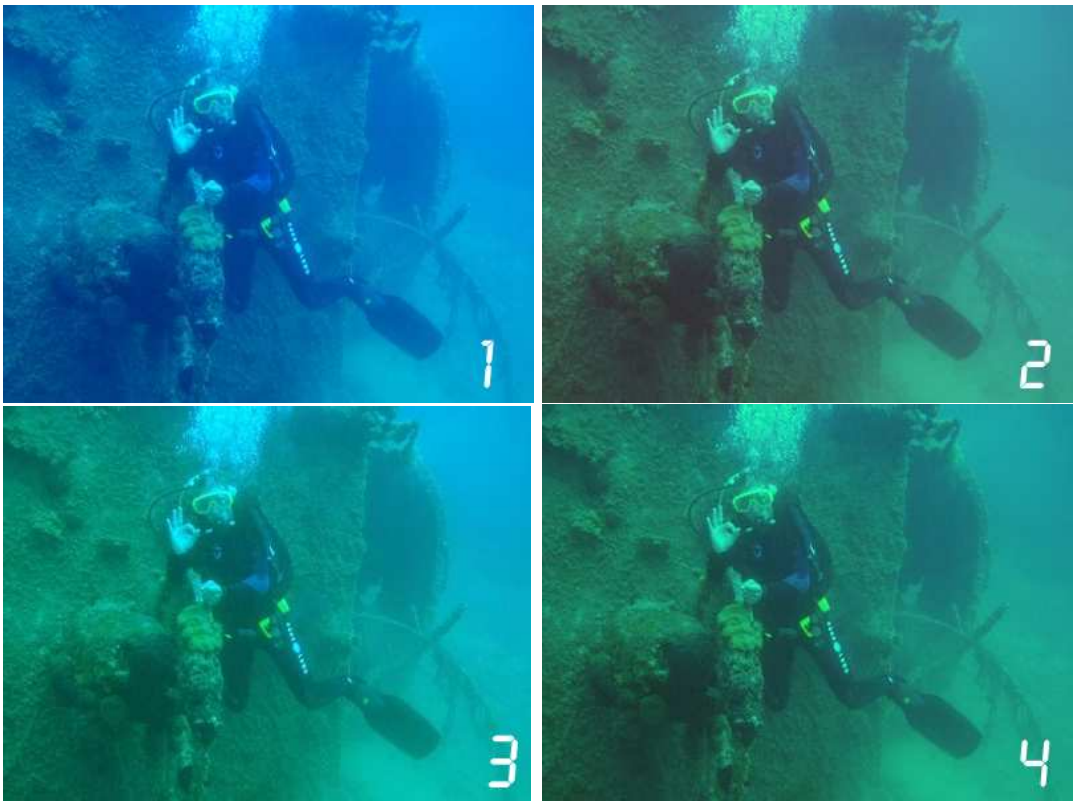
Obrázek 5.13: Ukázka korekce otočení fotografie



Obrázek 5.14: Ukázka korekce soudkovité sférické aberace



Obrázek 5.15: Ukázka korekce poduškovité sférické aberace



Obrázek 5.16: Ukázka korekce podvodních fotografií



Obrázek 5.17: Ukázka korekce vinětace

Příloha č. 3 - Programová dokumentace

Úvod

Program byl navržen a implementován jako sada samostatných modulů. Každý z těchto modulů funguje nezávisle na ostatních a zabývá se odstraněním jedné konkrétní vady objektivu na dané fotografii. Tyto moduly dohromady tvoří sadu programů pro odstranění vad objektivu na digitálních fotografiích. Moduly jsou navrženy jako programy bez grafického uživatelského rozhraní (kromě zobrazovacího modulu). Je tedy možné tyto programy spouštět dávkově pomocí skriptu nebo je zřetězit pomocí tzv. rour (pipes).

Zdrojové soubory

CImg.h	Knihovna CImg pro zpracování obrazu
display.cpp	zobrazovací modul
displayUtils.cpp	pomocné funkce zobrazovacího modulu
displayUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí zobrazovacího modulu
error.cpp	knihovna chybových hlášení
error.h	hlavičkový soubor pro knihovnu chybových hlášení
chromaber.cpp	modul pro korekci chromatické aberace
chromaberUtils.cpp	pomocné funkce modulu
chromaberUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí modulu
monochrom.cpp	modul pro odstranění monochromatické vady
monochromUtils.cpp	pomocné funkce modulu
monochromUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí modulu
perspective.cpp	modul pro perspektivní korekci
perspectiveUtils.cpp	pomocné funkce modulu
perspectiveUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí modulu
rotate.cpp	modul pro otočení fotografie
rotateUtils.cpp	pomocné funkce modulu
rotateUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí modulu

sphericaber.cpp	modul pro korekci sférické aberace
sphericaberUtils.cpp	pomocné funkce modulu
sphericaberUtils.h	hlavičkový soubor pomocných funkcí modulu
utils.cpp	všeobecně použitelné pomocné funkce
utils.h	hlavičkový soubor všeobecně pomocných funkcí modulu
uwcorrect.cpp	modul pro korekce podvodních fotografií
uwcorrectUtils.cpp	pomocné funkce modulu
uwcorrectUtils.h	hlavičkový soubor pro pomocné funkce modulu
vignette.cpp	modul pro korekci vinětace
vignetteUtils.cpp	pomocné funkce modulu
vignetteUtils.h	hlavičkový soubor pro pomocné funkce modulu

Programové moduly

- display - modul sloužící pro zobrazení fotografie před korekcí a po korekci
- chromaber - modul pro korekci chromatické aberace
- monochrom - modul pro korekci monochromatické vady
- perspective - modul pro perspektivní korekci
- rotate - modul pro otočení fotografie
- sphericaber - modul pro korekci sférické aberace
- uwcorrect - modul pro korekce podvodních fotografií
- vignette - modul pro korekci vinětace

Modul display

Funkce:

Modul display slouží pro zobrazení fotografie před korekcí a fotografie po korekci spolu s informací o dané korekci.

Syntaxe pro spuštění modulu:

display <fotografie před korekcí> <fotografie po korekci> [-d <popis korekce>]

Popis parametrů:

-d zobrazení popisu korekce

Příklad spuštění modulu:

```
display my_foto.jpg my_foto_new.jpg
display my_foto.jpg my_foto_new.jpg -d Korekce
```

Modul chromaber

Funkce:

Modul chromaber slouží k odstranění fialového chromatického defektu z fotografie.

Syntaxe pro spuštění modulu:

```
chromaber <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow)
```

Popis parametrů:

-o jméno výsledného souboru
-ow přepsání původního souboru výsledkem

Příklad spuštění modulu:

```
chromaber my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg
chromaber my_foto.jpg -ow
```

Modul monochrom

Funkce:

Modul monochrom slouží k odstranění monochromatické vady, případně k aplikaci umělého monochromatického efektu.

Módy modulu

Modul monochrom je možné spustit ve třech různých módech:

◇ mód invert

Slouží pro invertování barev na fotografii, což může být použito k tvorbě různých efektů. Např. modrá obloha po invertování barev připomíná hororovou atmosféru.

◇ mód filter

Slouží pro vyfiltrování jedné či více barevných složek z fotografie. Např po vyfiltrování fialovým filtrem, který pohltí všechny složky modré a červené barvy, zůstane v obrázku pouze zelená barevná složka. Celý obrázek potom bude mít zelený nádech.

◇ mód manual

Slouží k manuální úpravě jednotlivých barevných složek fotografie. Uživatel může pomocí zadaných hodnot sám určit, která barevná složka se změní, a o kolik. Jedná se o mód, který umožňuje uživateli libovolnou barevnou korekci fotografie.

Obecná syntaxe pro spuštění modulu:

monochrom <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) <přepínač módu> <parametry módu>

Popis parametrů:

-o jméno výsledného souboru
-ow přepsání původního souboru výsledkem

Přepínače módu:

-invert spustí modul monochrom v módu invert
-filter spustí modul monochrom v módu filter
pokud není uveden přepínač -invert nebo -filter, je implicitně spouštěn mód manual

Mód invert:

Mód invert nemá žádné parametry módu.

Syntaxe pro spuštění modulu monochrom v módu invert:

monochrom <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) -invert

Příklad spuštění modulu:

monochrom my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg -invert
monochrom my_foto.jpg -ow -invert

Mód filter:

Mód invert je nutné spustit s jedním z následujících parametrů módu:

red	vyfiltrování červené složky
green	vyfiltrování zelené složky
blue	vyfiltrování modré složky
magenta	vyfiltrování modré a červené složky
cyan	vyfiltrování modré a zelené složky
yellow	vyfiltrování zelené a červené složky

Syntaxe pro spuštění modulu monochrom v módu filter:

monochrom <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) -filter <parametr módu>

Příklad spuštění modulu:

monochrom my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg -filter red
monochrom my_foto.jpg -ow -filter cyan

Mód manual:

Mód manual je nutné spustit s minimálně jedním z následujících parametrů módu:

-r <korekční koeficient> manuální korekce červené složky
-g <korekční koeficient> manuální korekce zelené složky
-b <korekční koeficient> manuální korekce modré složky

kde korekční koeficient je znaménkové celé číslo v rozsahu <-255, 255>.

Syntaxe pro spuštění modulu monochrom v módu manual:

```
monochrom <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekcí> | -ow) [-r <kor. koef.>] [-g <kor. koef.>] [-b <kor. koef.>]
```

Příklad spuštění modulu:

```
monochrom my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg -r 40  
monochrom my_foto.jpg -ow -r 20 -g 30 -b -33
```

Modul perspective

Funkce:

Modul perspective slouží k perspektivní korekci fotografie.

Syntaxe pro spuštění modulu:

```
perspective <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekcí> | -ow) <úhel1> <úhel2>
```

Popis parametrů:

-o	jméno výsledného souboru
-ow	přepsání původního souboru výsledkem
úhel1	je úhel perspektivní projekce ve vertikálním směru a
úhel2	je úhel perspektivní projekce ve vertikálním směru.

Úhel je zadáván ve stupních. Jedná se o znaménkové celé číslo v rozsahu <-360, 360>.

Příklad spuštění modulu:

```
perspective my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg 30 20  
perspective my_foto.jpg -ow -r 20 -g 30 -20 0
```

Modul rotate

Funkce:

Modul rotate slouží k otočení fotografie.

Syntaxe pro spuštění modulu:

```
rotate <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekcí> | -ow) <úhel> (-cw|-ccw)
```

Popis parametrů:

-o	jméno výsledného souboru
-ow	přepsání původního souboru výsledkem
úhel	je úhel perspektivní projekce ve vertikálním směru a
-cw	značí otočení po směru hodinových ručiček
-ccw	značí otočení proti směru hodinových ručiček
	úhel je zadáván ve stupních. Jedná se o neznaménkové celé číslo v rozsahu <0, 360>.

Příklad spuštění modulu:

```
rotate my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg 30 -cw  
rotate my_foto.jpg -ow 20 -ccw
```

Modul sphericaber

Funkce:

Modul sphericaber slouží k sférické korekci fotografie.

Syntaxe pro spuštění modulu:

```
sphericaber <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) (-barrel—pincushion) <parametr1> <parametr2>
```

Popis parametrů:

-o	jméno výsledného souboru
-ow	přepsání původního souboru výsledkem
-barrel	značí korekci soudkovité sférické aberace
-pincushion	značí korekci poduškovité sférické aberace
-parametr1	značí míru prohnutí fotografie v horizontálním směru
-parametr2	značí míru prohnutí fotografie ve vertikálním směru
	mír prohnutí v obou směrech je celé neznaménkové číslo v rozsahu <0, 99>.

Příklad spuštění modulu:

```
sphericab my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg -barrel 30 20  
sphericab my_foto.jpg -ow -pincushion 20 44
```

Modul uwcorrect

Funkce:

Modul sphericaber slouží ke korekci podvodních fotografií.

Syntaxe pro spuštění modulu:

uwcorrect <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) <parametr>

Popis parametrů:

-o jméno výsledného souboru
-ow přepsání původního souboru výsledkem
-parametr značí hloubku pod vodou kde byla daná fotografie pořízena
hloubka je celé neznaménkové číslo v rozsahu <10, 50>.

Příklad spuštění modulu:

```
uwcorrect my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg 20  
uwcorrect my_foto.jpg -ow 44
```

Modul vignette

Funkce:

Modul vignette slouží ke korekci vinětače.

Syntaxe pro spuštění modulu:

vignette <fotografie před korekcí> (-o <fotografie po korekci> | -ow) <border> <shiftX> <shiftY> <max>

Popis parametrů:

-o jméno výsledného souboru
-ow přepsání původního souboru výsledkem
border značí procento vzálenosti od středu vinětače od které je vinětače patrná
shiftX x-ový posun středu vinětače vzhledem ke středu fotografie
shiftY y-ový posun středu vinětače vzhledem ke středu fotografie
max maximální možné zesvětlení pixelu v procentech (hodnota od 50 do 200)

Příklad spuštění modulu:

```
vignette my_foto.jpg -o my_foto_new.jpg 30 0 0 150  
uwcorrect my_foto.jpg -ow 40 5 5 170
```

Příloha č. 4 - Popis struktury přiloženého CD

Struktura CD

CD

Praktická část

Linux Kubuntu

Přeložené binární soubory

Zdrojové soubory - g++

MS Windows XP

Přeložené binární soubory

Zdrojové soubory - MS Visual Studio 2005

Pomocné knihovny

CImg v. 1.2.4

ImageMagick v. 6.3.6-2-Q16-windows

Technická zpráva

Zdrojové soubory

Odstranění vad objektivu.pdf

Vzorové fotografie

Popis struktury CD

CD obsahuje tři hlavní adresáře. Jsou to: Praktická část, Technická zpráva a Vzorové fotografie.

Adresář Praktická část obsahuje spustitelnou verzi praktické části bakalářské práce, její zdrojové soubory a potřebné pomocné knihovny. Obsahuje podadresáře Linux Kubuntu, MS Windows XP a Pomocné knihovny.

Podadresář Linux Kubuntu obsahuje přeložené binární soubory spustitelné pod operačním systémem Linux Kubuntu a také zdrojové soubory a příslušný makefile potřebný pro zkompilování zdrojových souborů.

Podadresář MS Windows XP obsahuje přeložené binární soubory spustitelné pod operačním systémem MS Windows XP a také projektovou strukturu pro MS Visual Studio 2005 se zdrojovými soubory určenou pro kompilování zdrojových souborů.

Podadresář Pomocné knihovny obsahuje knihovnu CImg potřebnou pro kompilování praktické části a instalační balík knihovny ImageMagick potřebnou pro spuštění praktické části bakalářské práce.

Adresář Technická zpráva obsahuje dokument technické zprávy bakalářské práce a podadresář obsahující zdrojové soubory systému L^AT_EX sloužící k vytvoření technické zprávy.

Adresář Vzorové fotografie obsahuje fotografie určené k vzorovému použití jednotlivých modulů - viz. příloha č. 1.