



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky**

Korekce vyvážení bílé v digitálním videu

White balance correction in digital video

Diplomová práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Multimediální technika

Vedoucí práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D

Bc. Jana Štěpánová

Praha 2014



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 7.5. 2014

.....



Poděkování

Nejvíce bych chtěla poděkovat vedoucímu této práce Ing. Karelu Fliegelovi, Ph.D za to, že mi byl vždy nápomocen při řešení problémů, které se při řešení práce vyskytly. Dále bych chtěla poděkovat Katedře radiotechniky za to, že mi poskytla prostory pro pořízení testovacích fotografií a videosekvencí. Také bych chtěla poděkovat Bc. Heleně Procházkové za zapůjčení fotoaparátu a za ochotnou pomoc při tvorbě testovacích snímků jako figurantka a Bc. Stanislavu Zdvihalovi za provedení subjektivních hodnocení a následné zpracování dat. A v neposlední řadě bych poděkovala svým rodičům za to, že mi doma umožnili v klidu na této práci pracovat.



Obsah

Abstrakt.....	7
Abstract.....	8
Seznam zkratk	9
1. Úvod.....	10
1.1. Základy kolorimetrie	10
1.1.1. Barva	10
1.1.2. Teplota chromatičnosti.....	11
1.2. Lidské oko.....	12
2. Vyvážení bílé.....	14
2.1. Rozdělení metod	14
2.2. Metody pracující s prostorem RGB.....	17
2.2.1. Gray World	17
2.2.2. Teorie Retinex	17
2.2.3. Kombinace metody Gray World a teorie Retinex	18
2.2.4. Vylepšená metoda automatického vyvážení bílé.....	18
2.2.5. Vícesnímkové automatické vyvážení bílé.....	19
2.2.6. Automatické vyvážení bílé založené na detekci hran.....	19
2.2.7. Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh.....	20
2.2.8. Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu.....	20
2.2.9. Automatické vyvážení bílé používající shodu barevných histogramů	21
2.2.10. Automatické vyvážení bílé využívající směrodatnou odchylku RGB komponentů.....	21
2.2.11. Automatické vyvážení bílé využívající adaptivní výběr funkce se standardním osvětlením	21
2.2.12. Automatické vyvážení bílé založené na odhadu světelného zdroje za pomoci fuzzy neuronové sítě	22
2.3. Metody používající přepočítání na souřadnice $Y C_b C_r$	22
2.3.1. Fuzzy rules method	22
2.3.2. Metoda automatického vyvážení bílé využívající fuzzy logiku.....	23
2.3.3. Metoda založená na kompenzaci jasu	23
2.3.4. Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty.....	23
2.3.5. Robustní algoritmus využívající šedé pixely v obrazu pro vyvážení bílé	24
2.3.6. Automatické vyvážení bílé v reálném čase.....	25
2.3.7. Nový algoritmus pro vyvážení bílé používající rozpoznávání obličeje.....	25
2.3.8. Automatické vyvážení bílé pro mobilní přístroje využívající adaptivní barevné vzorky	26
3. Metody subjektivního hodnocení kvality videa.....	27
3.1. Podmínky experimentu	27
3.1.1. Průběh experimentu.....	27
3.1.2. Pozorovací podmínky.....	27



3.1.3.	Pozorovatel	28
3.2.	Metody hodnocení subjektivní kvality videa pro multimediální aplikace	28
3.2.1.	Absolutní kategorie (Absolute Category Rating)	28
3.2.2.	Absolutní kategorie se skrytou referencí (Absolute category rating with hidden reference)	28
3.2.3.	Metoda hodnocení s degradací (Degradation category rating)	29
3.2.4.	Metoda porovnávání v páru (Pair comparison method)	29
3.2.5.	Porovnání jednotlivých metod	29
3.3.	Metody pro subjektivní hodnocení kvality televizních obrazů	30
3.3.1.	Metoda dvojitého stimulu se sníženou kvalitou (The double-stimulus impairment scale)	30
3.3.2.	Metoda dvojího stimulu s průběžnou kvalitou (The double-stimulus continuous quality-scale)	30
3.4.	Analýza výsledků hodnocení	31
4.	Objektivní hodnocení kvality vyvážení bílé	32
4.1.	Odhad úhlové chyby	32
4.2.	Perceptuální Eukleidovská vzdálenost	32
4.3.	Eukleidovská vzdálenost	32
4.4.	Střední kvadratická chyba	33
4.5.	Průměrná chromatičnost	33
5.	Ověření účinnosti metod vyvážení bílé	34
5.1.	Výběr metod vyvážení bílé	34
5.2.	Testování na fotografiích	34
5.2.1.	Fotografie	35
5.2.2.	Objektivní hodnocení kvality vyvážení bílé	37
5.2.3.	Subjektivní hodnocení	39
5.2.4.	Vzájemný vztah mezi objektivním a subjektivním hodnocení	43
5.3.	Vyvážení bílé ve videu	45
5.3.1.	Videa	45
5.3.2.	Objektivní hodnocení kvality přechodu	46
5.3.3.	Subjektivní hodnocení	52
5.3.4.	Vzájemný vztah mezi objektivním a subjektivním hodnocení videa	55
6.	Závěr	56
7.	Použité zdroje	58
7.1.	Literatura	58
7.2.	Obrázky	60
7.3.	Tabulky	61
A.	Poučení a souhlas s pořízením fotografií a videozáznamu	62
B.	Objektivní hodnocení vyvážení bílé ve fotografii	64
B.1.	Perceptuální Eukleidovská vzdálenost	64
B.2.	Střední kvadratická chyba	66
B.3.	Průměrná chromatičnost	68
B.4.	Eukleidovská vzdálenost v prostoru Lab	69



B.5.	Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB.....	70
C.	Subjektivní hodnocení fotografií.....	72
D.	Subjektivní hodnocení videa.....	75
E.	Obsah přiloženého DVD.....	78



Abstrakt

V této práci jsem se zabývala metodami vyvážení bílé a možnostmi jejich aplikace na video. Popsala jsem principy jednotlivých známých metod vyvážení bílé. Vybrané metody jsem implementovala pomocí programového prostředí Matlab. Nejdříve jsem tyto metody aplikovala na testovací fotografie. Pomocí subjektivních testů jsem vybrala nejúčinnější metody vyvážení bílé. Tyto metody jsem poté aplikovala na předem připravenou databázi testovacích videosekvencí. Na vyvážené fotografie i videa jsem aplikovala metody subjektivního i objektivního hodnocení kvality.



Abstract

In this project I have dealt with white balancing (WB) techniques and their use for video. I described the principles of known WB methods. Then I implemented these methods in Matlab and tested their performance on still images. In next step, I made test video that was not white balanced and included a change in lighting. These video sequences were balanced using the selected WB methods. Both subjective and objective quality assessment methods have been applied to white-balanced images and videos.



Seznam zkratek

MKO	–	Mezinárodní kolorimetrická organizace
CIE	–	Commission Internationale de l'Éclairage
T _c	–	Teplota chromatičnosti
R	–	Red, červená barva
G	–	Green, zelená barva
B	–	Blue, modrá barva
YCrCb	–	Jedna z barevných soustav
GW	–	Gray World
FNN	–	Fuzzy neuronová síť (Fuzzy Neural Network)
ITU-R	–	Mezinárodní telekomunikační unie pro radiokomunikace (International Telecommunication Union)
ACR	–	Metoda absolutní korekce (Absolute Category Rating)
SS	–	Metoda jednoho stimulu (Single Stimulus)
DCR	–	Metoda hodnocení s degradací (Degradation Category Rating)
PC	–	Metoda porovnávání v páru (Pair Comparison)
DSIS	–	Metoda stimulu se sníženou kvalitou (Double Stimulus Impairment Scale)
DSCQS	–	Metoda dvojího stimulu s průběžnou kvalitou (Double Stimulus Continuous Quality Scale)
PED	–	Perceptuální Eukleidovská vzdálenost
WB	–	Vyvážení bílé (White balancing)
MSE	–	Střední kvadratická chyba (Mean Squared Error)
Lab	–	Jeden z barevných prostorů
BT	–	Bradly-Terryův model

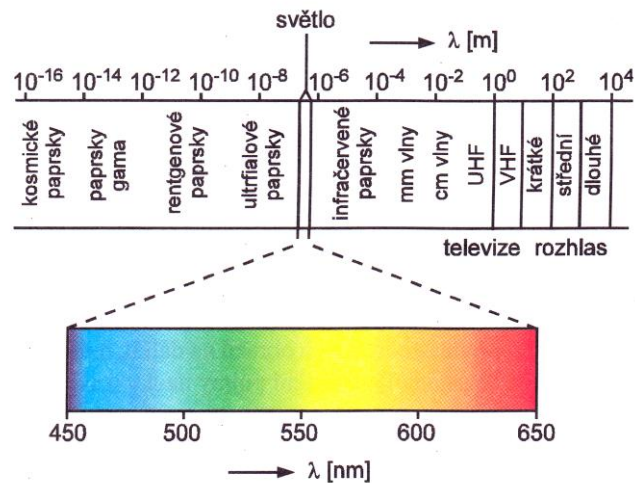


1. Úvod

V dnešní době se obrazový záznam, ať už se jedná o fotografie nebo video, pořizuje převážně za pomoci digitálních záznamových zařízení. Díky tomu vznikla spousta metod na úpravu pořízených záznamů. Jednou z nejčastěji používaných úprav je vyvážení bílé v obraze. Tím se snažíme napodobit přizpůsobivost lidského oka na různá osvětlení. U fotografování není problém ani pro zkušenějšího amatérského fotografa nastavit si bílou manuálně za pomoci bílé plochy, u videa, kde při běžných neprofesionálních záznamech dochází k často k přechodu mezi různě nasvícenými prostory už správné nastavení bílé není tak jednoduché. Proto jsem se v této práci snažila zjistit, jak kvalitně se dokáží metody vyvážení bílé s touto změnou osvětlení vypořádat.

1.1. Základy kolorimetrie

Světlo, jak ukazuje následující obrázek, je jen malá část elektromagnetického záření o vlnové délce přibližně 450 nm - 650 nm, která je viditelná lidským zrakem [1].



Obr. 1 Vlnové délky [1]

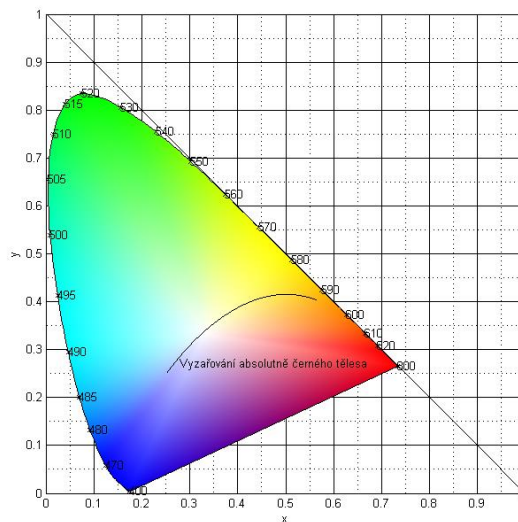
1.1.1. Barva

Každou barvu světla popisují 3 parametry, jas, tón a sytost. Jas vyjadřuje energii záření, ale nevypovídá nic o jeho chromatičnosti. Tu definuje tón a sytost. Tón vyjadřuje dominantní



vlnovou délku světla, v barevném diagramu MKO (Mezinárodní kolorimetrická organizace) se tón barvy mění po obvodu. Zde je vidět, že neexistuje barva s modro-žlutým nebo červeno-zeleným tónem. I lidské oko zpracovává barvy v modro-žlutém a červeno-zeleném kanálu. Sytost vyjadřuje příměs ostatních vlnových délek, v diagramu MKO se barva se 100 % sytostí nachází na kraji a směrem ke středu se sytost snižuje [2], [3], [4].

Pro jednodušší a jednotný popis barev v roce 1931 vznikla standard CIE 1931 a s ním x-y barevný diagram [4].



Obr. 2 Barevný diagram podle CIE 1931

Na ose x je vynesena neskutečný trichromatický členitel x, na ose y členitel y, oba jsou pomocí daných pravidel spočítají z neskutečných barev XYZ, které slouží k popisu reálných barev tak, aby šly realizovat. Po obvodu diagramu se mění tón barvy, tedy dominantní vlnová délka, a směrem ke středu diagramu se snižuje sytost, obsah ostatních vlnových délek v barvě.

1.1.2. Teplota chromatičnosti

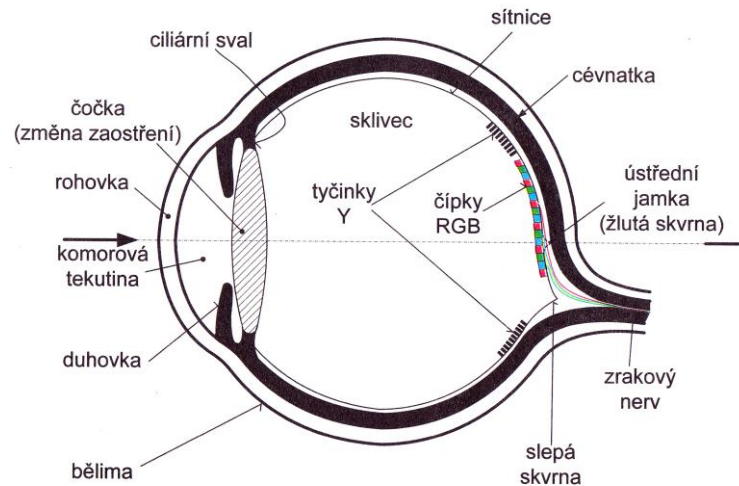
Teplota chromatičnosti T_c udává v kelvinech, jakou teplotu by mělo absolutně černé těleso, když by vyzařovalo světlo se stejnou barevností jako daný zdroj světla. Černé těleso pohlcuje všechny vlnové délky, jeho teplota je absolutní nula, tedy 0 K. Postupným ohříváním začíná vyzařovat světlo, jehož barva se mění od červené (1000 K), přes žlutou, bílou (4500 K) až po modrou [4].

Běžně se můžeme setkat se světelnými zdroji, které vyzařují světlo s T_c v rozmezí 800 až 25000 K [3]. V barevném diagramu barvu těchto světelných zdrojů znázorňuje křivka vyzařování absolutně černého tělesa. Můžeme zde vidět, že barva světelných zdrojů se mění na spojnici mezi žlutou a modrou barvou. Tato změna barevného tónu osvětlení je hlavním důvodem, proč je potřeba při snímání obrazu bílou barvu nastavovat a vyvažovat.



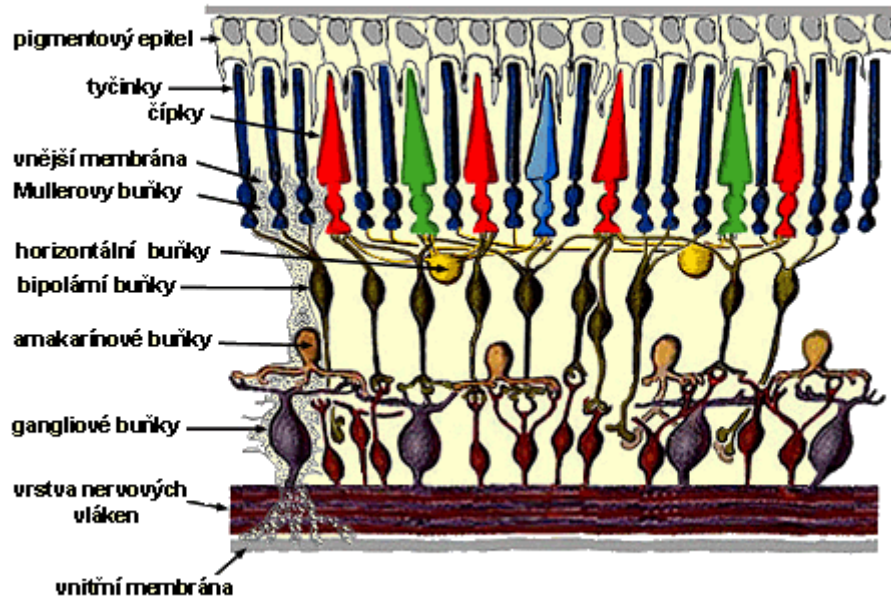
1.2. Lidské oko

Jedním s požadavků na snímání obrazu je zachycení scény tak, aby se co nejvíce podobala vjemu lidského oka. Proto je důležité se seznámit s jeho funkcí. Řez oka je znázorněn na obrázku 3.



Obr. 3 Lidské oko [1]

Světlo nejprve prochází rohovkou, průhlednou tkání na přední straně oka, pokračuje pupilou, jejíž rozměr upravuje duhovka podle množství světla dopadajícího do oka, na oční čočku. Čočka zaostří paprsek světla na sítnici. Kromě ostření zajišťuje ochranu oka před ultrafialovým zářením. Obsahuje žlutý pigment, který pohlcuje vlnové délky okolo 365 nm a nijak neovlivňuje světlo o vlnové délce 550 – 650 nm. Zaostřený paprsek dopadá na sítnici (obr. 4), která světlo převádí na nervové vzruchy, které se převedou do mozku [4].



Obr. 4 Řez sítnicí [2]

Světlo prochází vnitřní membránou na fotocitlivou neuroepitelovou vrstvu (vnější membrána), ta funguje podobně jako světlocitlivá vrstva kinofilmu. Obsahuje 2 typy snímačů, tyčinky a čípky. Tyčinky jsou citlivé pouze na jas, zprostředkovávají nám černobílí vjem s velmi rychlou adaptací na změnu světla. Sítnice obsahuje asi 100 milionů tyčinek, rozmístěných po celé její ploše. Barevné vidění zajišťují čípky, které jsou převážně rozmístěny v oblasti žluté skvrny, místě nejostřejšího vidění. Čípků je asi 6 milionů a jsou rozděleny na 3 druhy, červeno, zeleno a modrocitlivé v poměru přibližně 32:16:1 [1], [3].

Lidský zrak má mimo jiné schopnost barevné adaptace. Pokud se budeme dívat na bílý předmět pod různými světly, jako například světlo žárovky, zářivky nebo denní světlo, budeme tento předmět vidět pokaždé bílý, přestože jeho skutečná barva je ovlivněna dopadajícím světlem. Oko je schopné nastavovat zisk RGB čípků tak, abychom předměty, o kterých ze zkušenosti víme, že jsou bílé, bílé viděli nezávisle na osvětlení. Snímací zařízení tuto schopnost nemají, zaznamenávají barvy reálně, pro nás nepřirozeně, a proto je nutné barvy upravovat, provést vyvážení bílé [3].



2. Vyvážení bílé

Jak bylo řečeno v kapitole Lidské oko, člověk vidí předměty v takové barvě, na jakou je zvyklý. Papír bude vždy bílý a nezáleží na tom zda jej osvětluje bílé denní světlo nebo načervenalý západ slunce. Snímací zařízení ale zachycují barvy takové, jaké ve skutečnosti jsou, takže v poledne bude papír na fotografii bílý, ale při západu slunce bude mít červený tón. Člověk na tyto změny není zvyklý, není to přirozené, a proto se obraz upravuje tak, aby bílá byla bílá za každého osvětlení.

V době analogové snímací techniky se používali barevné filtry, v dnešní digitální době se většinou využívají výpočetní algoritmy, které již hotový snímek upraví do požadované podoby.

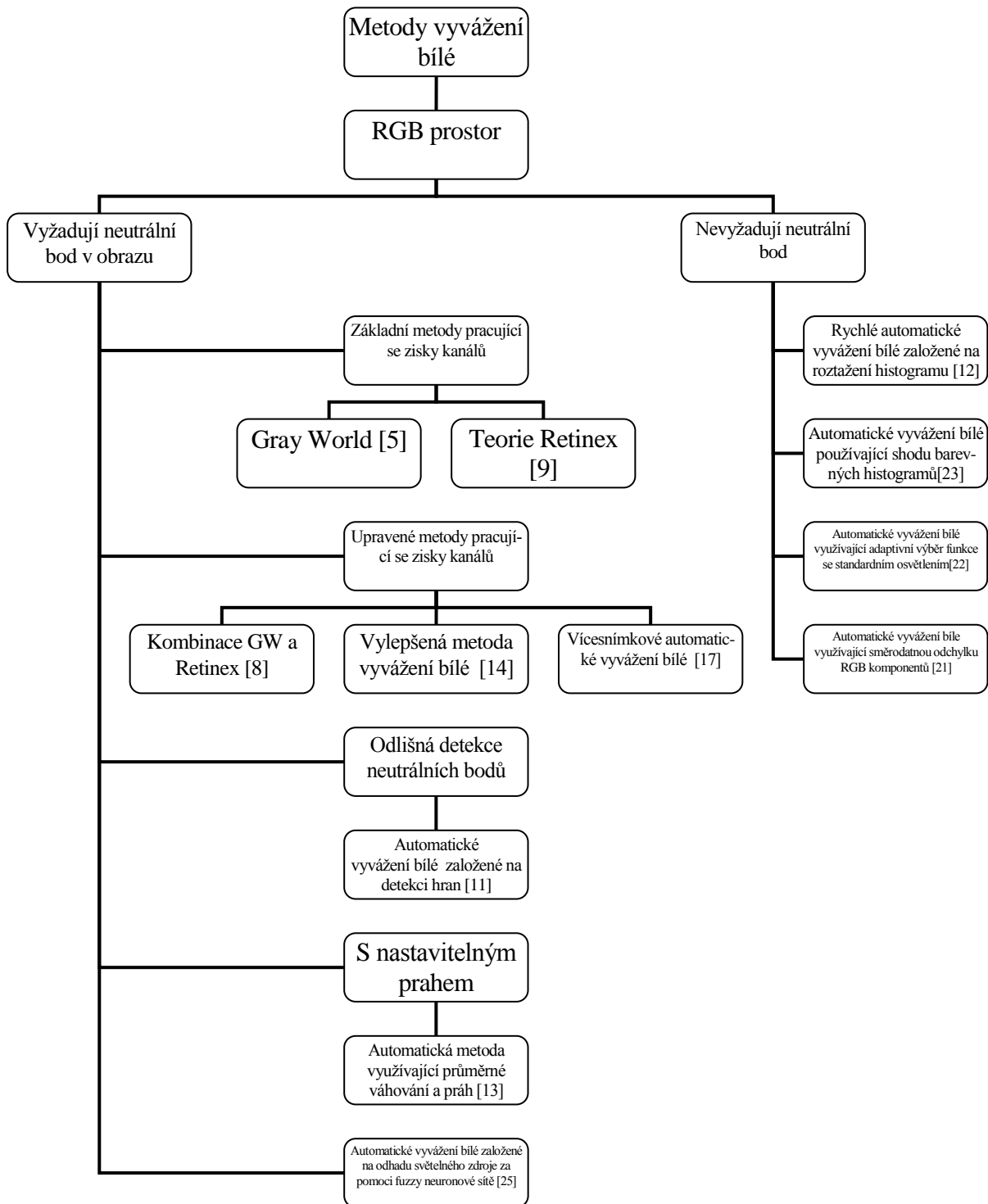
U běžně používaných algoritmů je asi nejsložitější částí určení bílého bodu. Nejednodušším řešením je použití bílé nebo šedé plochy, která se nasnímá za daných světelných podmínek. Nevýhoda tohoto řešení je, že pro každé světlo se musí destička opět vyfotografovat. Pro fotografie to nevadí, ale při pořizování videa musíme myslet na přechody mezi různými zdroji světla a vše si předem přednastavit. Pokud by se uživatel chtěl dále zabývat složitými a často časově náročnými barevnými korekcemi, tak by tento problém nebyl tak podstatný, většina lidí dá ale přednost automatickým metodám vyvážení bílé, které ve většině případů barevnou změnu dokonale neodstraní [2].

2.1. Rozdělení metod

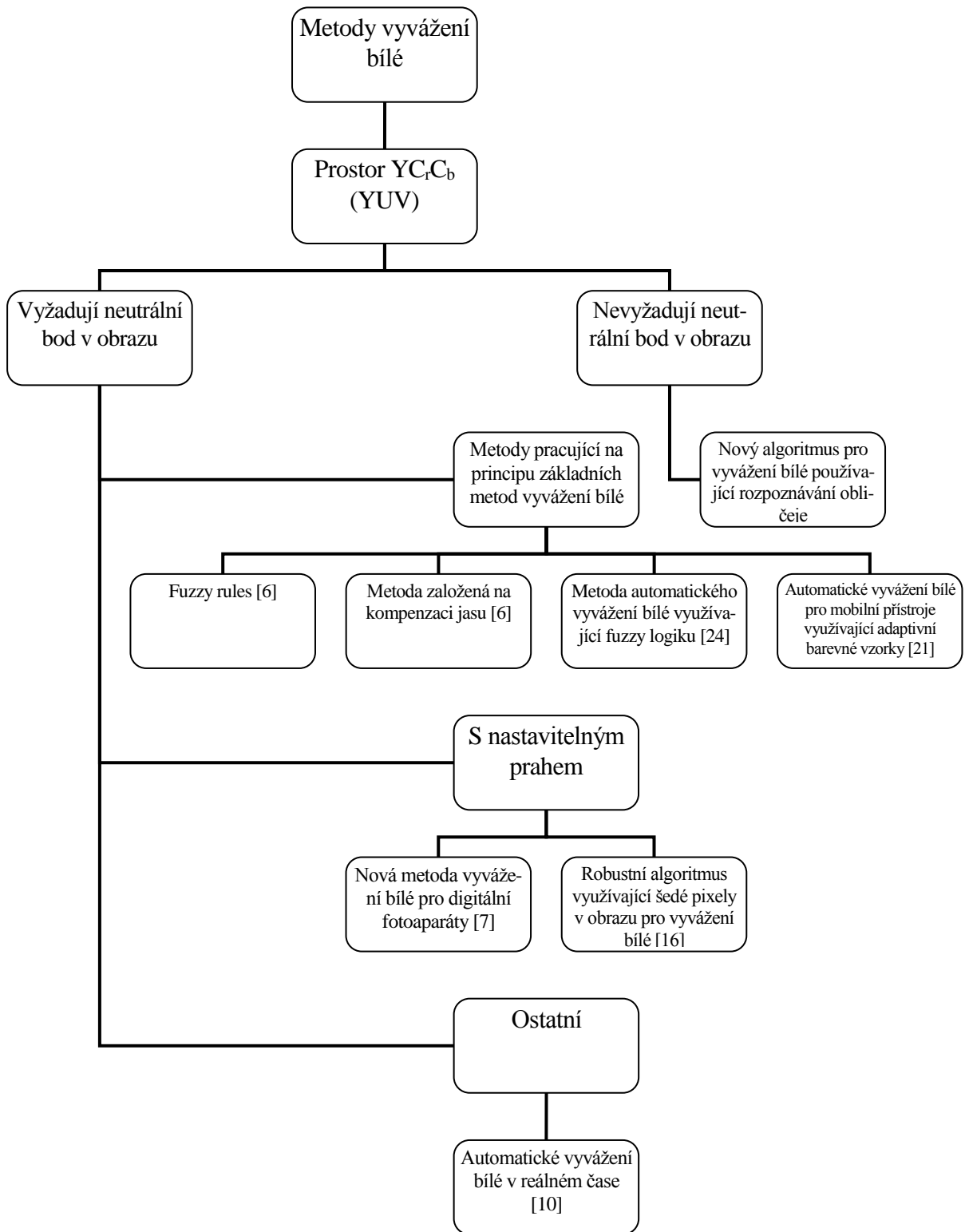
Metody vyvážení bílé jsem nejdříve rozdělila podle toho, zda pracují s barevnými kanály RGB nebo $YCbCr$. V další úrovni jsem pak metody rozdělila podle požadavku na snímek.

Některé metody jsou schopné vyvážit bílou, i když se v obraze nenachází žádný neutrální bod. Tyto metody často pracují buď podle odlišného způsobu nebo pro svoji správnou funkci vyžadují další algoritmy. Vzhledem k jejich malému počtu jsem tuto kategorii dále nedělila.

Většina metod vyvážení bílé potřebuje v obrazi neutrální bod, aby podle něj mohly nastavit správnou bílou. Tuto skupinu jsem rozdělila na metody základní, to jsou běžně používané metody Gray World a Retinex [9], velký počet metod pracuje s různými obměnami na stejném principu, ale i ve skupině metod požadující neutrální bod v obraze se najdou metody, které pracují odlišným způsobem, i když princip stále vychází z metod základních. Tyto metody jsem rozdělila podle hlavní odlišnosti od ostatních, takže jsem vytvořila skupinu metod s odlišnou detekcí neutrálního bodu, s nastavitelným prahem pro bílou barvu a ostatní metody, jejichž princip se u jiných metod neobjevuje.



Obr. 5 Metody vyvážení bílé pracující v prostoru RGB



Obr. 6 Metody vyvážení bílé pracující v prostoru YCrCb



2.2. Metody pracující s prostorem RGB

2.2.1. Gray World

Metoda Gray World (dále GW) je jednou z nejstarších metod vyvážení bílé, ale díky své jednoduchosti je hojně využívána i dnes. GW vychází z předpokladu, že průměrná odrazivost scény je ve všech barevných kanálech stejná a výsledkem je šedá barva [5].

Digitální fotografie se rozdělí na kanály R, G a B, v každém kanálu se spočítá průměrná hodnota [9].

$$R_{pr} = \frac{1}{NM} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M R(x, y) \quad G_{pr} = \frac{1}{NM} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M G(x, y) \quad B_{pr} = \frac{1}{NM} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M B(x, y) \quad (2.1)$$

R_{pr} je průměrná hodnota v kanálu R, $R(x,y)$ je hodnota barevného kanálu pro jednotlivé pixely a M,N jsou rozměry obrázku. Pokud jsou si všechny 3 hodnoty rovny, je bílá v obraze vyvážená. Když se od sebe hodnoty liší, spočítají se koeficienty, kterými se hodnoty v kanálech upraví, tak aby měly stejnou hodnotu [9].

$$\alpha = \frac{G_{pr}}{R_{pr}} \quad \beta = \frac{G_{pr}}{B_{pr}} \quad (2.2)$$

Jako referenční se volí hodnoty v kanálu G. Koeficienty a, b se kanály R, B upraví na hodnotu kanálu G [9].

$$\hat{R} = \alpha R \quad \hat{G} = G \quad \hat{B} = \beta B \quad (2.3)$$

Tím se splní počáteční předpoklad, průměr všech 3 kanálů dá šedou barvu.

Metoda GW funguje pro scény, ve kterých jsou barvy zastoupeny stejnoměrně, pokud bude větší část plochy zabírat jednobarevný objekt, nelze touto metodou dosáhnout dobrého výsledku [6], [7], [8], [9].

2.2.2. Teorie Retinex

Teorie Retinex, někdy uváděná jako metoda bílé skvrny, vychází ze schopnosti lidského oka považovat za bílý předmět, který má ve scéně nejvyšší jas [9].

Výpočet probíhá podobně jako u metody GW s tím rozdílem, že místo průměrné hodnoty v kanálu se spočítá maximum kanálu. Jako referenční se bere maximální hodnota v kanálu G .

$$R_{max} = \max R \quad G_{max} = \max G \quad B_{max} = \max B \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{G_{max}}{R_{max}} \quad \beta = \frac{G_{max}}{B_{max}} \quad (2.5)$$

$$\hat{R} = \alpha R \quad \hat{G} = G \quad \hat{B} = \beta B \quad (2.6)$$



Retinex theory odstraňuje nedostatky metody Gray World, problém nastane v okamžiku, kdy se ve snímku objeví velmi světlý pixel, to nastane například při saturaci, kdy snímaný jas objektu je za hranicí citlivosti snímače v daném nastavení. V tomto případě mají všechny saturované pixely maximální hodnotu, tedy 255, což je hodnota bílé barvy, i když snímaný objekt původně bílý nebyl, dojde tak k chybnému určení bílé barvy. Pro běžnou scénu dostaneme při použití metody GW a Retinex odlišné výsledky [6], [7], [8].

Obdobou této teorie je metoda Maximální bílé, kdy se jako referenční hodnota nepoužívá maximum zeleného kanálu, ale hodnota 255. To je maximum, kterého můžou nabývat hodnoty v jednotlivých kanálech pro 8 bitový kanál. Tato metoda nefunguje pro tmavé pixely [6].

2.2.3. Kombinace metody Gray World a teorie Retinex

Jedná se o kombinaci obou metod, tak aby se co nejlépe potlačily jejich nedostatky. Pro stejný snímek je výsledek obou metod často rozdílný. Díky tomu, že obě metody pracují se zisky kanálů R a B, lze provést jejich kombinaci [8].

$$\begin{bmatrix} \sum \sum I_r^2 & \sum \sum I_r \\ \max I_r^2 & \max I_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum \sum I_g \\ \max I_g \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

I_r a I_g jsou hodnoty pixelu pro příslušný barevný kanál. Pro modrý kanál se místo I_r dosadí hodnoty pro modrou, tedy I_b . Na rozdíl od metody GW a Retinex se zde používají 2 koeficienty pro úpravu zisku kanálu μ , ν . Ty se vypočítají z výše uvedené soustavy rovnic. Tyto rovnice vychází z definice metody Gray World, kde se určuje průměrná hodnota kanálu, a metody Retinex, kde se určuje maximum, a předpokladu, že pro neutrální bod jsou hodnoty zisku ve všech třech kanálech stejné.

2.2.4. Vylepšená metoda automatického vyvážení bílé

Tato metoda vychází z metody Gray World a vylepšuje jej vlastnosti [14].

Původní metoda GW počítá zisk pro celý snímek, tato metoda provádí výpočet pro každý pixel.

$$\alpha_{(r,s)1} = \frac{x_{(r,s)1} \bar{x}_2^2}{(x_{(r,s)2} \bar{x}_1^2)} \quad (2.8)$$

K výpočtu využívá lokální i globální, tedy průměrné, hodnoty pro každý kanál kromě kanálu zeleného, který stejně jako u metody GW zůstává beze změny. Hodnoty \bar{x} jsou průměrné hodnoty zisku v kanálu, které se používají u metody GW, index 1 je pro kanál R, 2 pro G atd., $x_{(r,s)}$ jsou lokální hodnoty zisku pro jednotlivé pixely. Koeficienty α_1 a α_3 se podobně jako u metody GW upraví hodnota zisku pro kanály R a B s tím rozdílem, že se úprava použije na každý pixel zvlášť, protože i koeficienty jsou pro jednotlivé pixely různé.

Snímky vyvážené touto metodou lépe zachovávají barevnost původního obrázku bez šedého nádechu, který se často vyskytuje u snímků vyvážených metodou GW.



2.2.5. Vícesnímkové automatické vyvážení bílé

Tato metoda, vycházející z teorie Retinex, pracuje s RGB snímky ve formátu RAW pořízené snímačem s Bayerovou maskou. V tomto případě existují 4 barevné kanály, a to R, G₁, G₂ a B. Nejprve je jeden snímek pořízen s automatickou expozicí označenou jako e₀. Pak jsou nafoceny 3 další snímky s dobou expozice e_{R,G₁,G₂,B} [17].

$$e_{\{R,G_1,G_2,B\}} = e_0 \frac{Gain_{\{R,G_1,G_2,B\}}}{\min\{Gain_R, Gain_{G_1}, Gain_{G_2}, Gain_B\}} \quad (2.9)$$

Snímky projdou eliminací viněte. Z každého snímku se zachová pouze jedna barva (barva R je ze snímku s expozicí e_R atd.) a referenční hodnoty se vezmou ze snímku s automatickou expozicí a složí se z nich jeden snímek. V této metodě nedochází k vyvážení bílé ve zpracování snímku po jeho pořízení, jak je běžné u ostatních metod, ale bílá se vyvažuje dopředu pomocí spočítané doby expozice, která je vhodná pro jeden barevný kanál.

Pro snímek, který obsahu jen kanály RGB se tato metoda použije stejným způsobem.

2.2.6. Automatické vyvážení bílé založené na detekci hran

Tato metoda popisuje nový způsob výběru referenčních pixelů [11].

Hrana je umístěna v obraze tam, kde se nejvíce změní hodnota v chrominančních kanálech. Pokud se jako referenční vezmou pixely na obou stranách hrany, dosáhne se lepších výsledků než u metody Gray World. Algoritmus má 3 části, detekci hran, výpočet zisku kanálu a přiřazení správné hodnoty jednotlivým pixelům.

Pro detekci hran zvolil autor metody Prewittův hranový operátor (Prewitt Edge Operator) [11], kterým se z barevného snímku získá snímek obsahující hrany. Hrany se detekují zvlášť pro kanál C_r a C_b a výsledný obraz je součtem obou. Hrany, které jsou nevýrazné se z obrazu odstraní vhodným nastavením prahu v histogramu. Pro výběr hranového pixelu se použije první a druhé derivace hrany a zvolí se maximum této funkce.

V druhém kroku se spočítá zisk v RGB kanálech. Všechny referenční pixely z obou stran hrany, která byla označena v předešlém kroku [11].

$$R_g = \frac{Y_{avg}}{R_{avg}} \quad G_g = \frac{Y_{avg}}{G_{avg}} \quad B_g = \frac{Y_{avg}}{B_{avg}} \quad (2.10)$$

Y_{avg} je průměrná hodnota jasu obrazu a R_{avg}, G_{avg} a B_{avg} jsou průměrné hodnoty referenčních pixelů v jednotlivých barevných kanálech.

V posledním kroku se hodnoty RGB z původního snímku vynásobí hodnotami R_g, G_g, B_g.

Díky způsobu výběru referenčních pixelů se podařilo odstranit vliv velkých jednobarevných ploch v snímku.



2.2.7. Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh

Tato metoda využívá kombinaci upravené metody Gray World a roztažení histogramu [13].

Metoda Gray World často mění rozložení i tvar histogramu. Po úpravě vypadají vzorce pro výpočet správné hodnoty kanálu takto:

$$\begin{aligned}I'_r(x, y) &= I_r(x, y) + (A_{avg} - R_{avg}) \\I'_g(x, y) &= I_g(x, y) + (A_{avg} - G_{avg}) \\I'_b(x, y) &= I_b(x, y) + (A_{avg} - B_{avg})\end{aligned}\quad (2.11)$$

A_{avg} je aritmetický průměr průměrů ve všech 3 kanálech. Na rozdíl od metody GW se zde původní hodnota kanálu nenásobí podílem referenční hodnoty a průměrné hodnoty kanálu, ale pouze se k ní přičte rozdíl těchto dvou hodnot.

U metody roztažení histogramu se upravují hranice, ve kterých se histogram roztahuje. Místo rozmezí 0-255 je nejnižší hodnota nastavena jako minimální hodnota kanálů RGB a nejvyšší hodnota jako maximum kanálů RGB.

Kombinace obou metod se provádí součtem výsledků s tím, že výsledek každé metody se váhuje [13].

$$w_1 = \frac{|C_b - C_r| + |\max Std - \min Std|}{n}\quad (2.12)$$

Váhovací hodnota pro druhou metodu se spočítá jako $1-w_1$. Max a min Std je maximální, respektive minimální hodnota směrodatné odchylky pro kanály RGB. Hodnota n byla experimentálně stanovena jako 200.

2.2.8. Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu

Tato metoda je navržena tak, aby bylo možné bez náročných výpočtů rychle dosáhnout kvalitních výsledků i u běžné videokamery. Na rozdíl od většiny stávajících metod vyvážení bílé nepracuje přímo s hodnotami kanálů R,G,B, ale s četnostmi výskytu jednotlivé hodnoty ve snímku, tedy s barevnými histogramy [12].

Pro každý ze 3 kanálů se spočítá histogram. Pokud jednotlivé špičky v histogramu jsou pro všechny 3 kanály na stejném místě, je snímek barevně vyvážený. Když jsou špičky v nějakém kanálu jinde, je obrázek vyvážen špatně a je nutné histogram roztáhnout.

Hlavní myšlenkou této metody je nalezení 2 práhů pro každý kanál a roztažení hodnot mezi nimi [12].

$$C_{out} = \frac{(C_{in} - L)}{(H - L)} \cdot range + c_{min}\quad (2.13)$$

C_{out} a C_{in} jsou výstupní a vstupní tonální hodnoty, L je spodní práh a H horní práh, $range$ je maximální hodnota, typicky 255, c_{min} je minimální hodnota, nejčastěji 0.

Nejdříve se spočítají histogramy pro RGB kanály. Po té se zvolí hodnoty H a L tak, že 99% pixelů je menších respektive větších hodnot. Pro každý pixel se podle uvedené rovnice spočítá správná hodnota a snímek se tak barevně vyváží.



2.2.9. Automatické vyvážení bílé používající shodu barevných histogramů

Základní myšlenka této metody je to, že pro RGB snímek by překryv RGB histogramů měl být co největší. Metoda vyvažuje bílou v pěti krocích [23].

V prvním kroku se z prostoru RGB převede snímek na souřadnice r,g,b. Toto eliminuje změny jasu. Z těchto souřadnic se spočítají barevné histogramy.

V dalším kroku se spočítá překrytí histogramů. To se spočítá jako suma průniků jednotlivých histogramů. Největšího překryvu dosahují histogramy při neutrálním osvětlení. Z této podmínky lze dopočítat koeficienty pro opravu histogramů. Podle upravených histogramů vznikne vyvážený snímek.

2.2.10. Automatické vyvážení bílé využívající směrodatnou odchylku RGB komponentů

Tato metoda využívá statistických výpočtů ke správnému nastavení bílé barvy [20]. Snímek se nejdříve rozdělí do n bloků, v každém bloku se spočítá průměrná směrodatná odchylka pro kanály R, G, B.

$$SDWA_R = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{SD_red(k)}{\sum_{i=1}^n SD_red(i)}}{\overline{red(k)}} \times \overline{red(k)} \quad (2.14)$$

SD_red je směrodatná odchylka v kanálu a $\overline{red(k)}$ průměrná hodnota v kanálu.

Pomocí těchto průměrných směrodatných odchylek pro jednotlivé barevné kanály se upraví výsledná hodnota kanálů.

$$Rgain = Rgain \times \frac{(SDWA_R + SDWA_G + SDWA_B) / 3}{SDWA_R} \quad (2.15)$$

Analogicky se upraví zbylé dva kanály a dojde k vyvážení bílé ve snímku

2.2.11. Automatické vyvážení bílé využívající adaptivní výběr funkce se standardním osvětlením

Standardní osvětlení je definováno CIE. V této metodě vyvážení bílé se předpokládá, že každé reálné osvětlení lze najít v seznamu standardních osvětlení CIE, a tak se může vybrat reálné osvětlení, které je nejpodobnější standardnímu osvětlení. Díky tomu lze v případě, kdy bylo nalezeno podobné standardní osvětlení, minimalizovat chybu, která vzniká při extrakci barevnosti. Pokud žádné standardní osvětlení neodpovídá tomu reálnému, je nutné bílou vyvážit [22].

Tato metoda vyvážení bílé je rozdělena na 3 kroky.

V prvním kroku se snímek rozdělí na bloky a v každém bloku se spočítá průměrná hodnota v kanálech R, G, B. Všechny tyto průměrné hodnoty se porovnají s určitým prahem, pokud je jejich hodnota menší než práh, tak se tyto bloky z dalšího zpracování vyloučí.

V druhém kroku se najde neutrální barva. Bloky s neutrální barvou se najdou podle podmínky vycházející z jiných metod vyvážení bílé.

V posledním kroku se najde vhodné osvětlení. Bloky vybrané z předešlých kroků se porovnají se seznamem standardních osvětlení. Pomocí Eukleidovské vzdálenosti chromatičnosti



extrahované barvy a standardního osvětlení se najde to nejpodobnější osvětlení. I pro tuto činnost je použit práh, který z výpočtu odstraní barvy, které mají moc velkou Eukleidovskou vzdálenost.

Nakonec se pomocí von Kriesových [5] koeficientů a vybraného standardního osvětlení upraví barevnost scény.

2.2.12. Automatické vyvážení bílé založené na odhadu světelného zdroje za pomoci fuzzy neuronové sítě

Fuzzy neuronová síť (FNN) je síť přechodu z n vstupů nejčastěji do 1 výstupu ve více vrstvách. V této metodě se využívá struktura se 3 vstupy, 4 vrstvami a jedním výstupem. Jednotlivé vstupy reprezentují R, G, B. První vrstva má tedy 3 uzly a posílá informaci přímo do 2. vrstvy. Druhá vrstva má 3×96 uzlů a provádí fuzzifikaci. V 3. vrstvě je 96 uzlů a každý z nich představuje 1 fuzzy pravidlo. V poslední 4. vrstvě je jen jeden uzel, který vše spojuje od jednoho výstupu a působí tak jako defuzzier. Váha ve vrstvě 1 je nastavena shodně, v druhé vrstvě se váha počítá pomocí Gaussovské funkce a je opět nastavena jednotně pro všechny uzly. Uzly ve 3. vrstvě dělají operaci AND, váhy jsou nastavitelné. Ve 4. vrstvě se spočítají vážené průměry signálů z vrstvy 3 pro defuzziaci [25].

Pomocí FNN se predikuje barevná teplota. Barevná testovací tabulka se nasnímá pod různými zdroji světla. Pomocí těchto snímků se sestaví množina trénovacích vzorků pro FNN. Na-trénovaná neuronová síť dokáže určit barevnou teplotu neznámého světla, kterým byla scéna nasvícena.

Pokud je známé osvětlení, může dojít k vyvážení bílé. Nové hodnoty se spočítají podle následujících rovnic [25]:

$$\begin{aligned}R_{awb} &= (R + \max(1, (E.T. - 6500)/100)) \times R_{D65}/R_c - \max(1, (E.T. - 6500)/100) \\G_{awb} &= G \times G_{D65}/G_c \\B_{awb} &= (B + \max(1, (E.T. - 6500)/100)) \times B_{D65}/B_c - \max(1, (E.T. - 6500)/100)\end{aligned}\quad (2.16)$$

R_{D65} je hodnota červeného kanálu bílého objektu pod standardním osvětlením s teplotou chromatičnosti 6500 K, R_c je hodnota červené bílého objektu pod odhadnutou teplotou chromatičnosti, $E.T.$ je odhadnutá teplota chromatičnosti.

2.3. Metody používající přepočítání na souřadnice $Y C_r C_b$

2.3.1. Fuzzy rules method

Tato metoda se snaží potlačit vliv velkých jednobarevných ploch na výsledné vyvážení bílé.

Experimentálně se zjistilo, že nejmenší vliv má barva osvětlení na tmavé objekty a naopak největší na světlé objekty. Pro jiná než bílá osvětlení je poměr r mezi barevnými složkami C_r a C_b v intervalu -1,5 až -0,5.

Obraz se rozdělí na 8 segmentů, v každém se spočítá poměr r . Tím se pak vyváží průměrná hodnota C_b a C_r v každém segmentu.



Metoda Fuzzy rules dokáže pracovat i s obrazy, kde velkou plochu zabírá jednobarevný objekt, ale výsledný snímek je podobný předloze [6].

2.3.2. Metoda automatického vyvážení bílé využívající fuzzy logiku

Snímek z fotoaparátu se rozdělí do různých segmentů podle jejich důležitosti v obraze. Poté se spočítá průměrná hodnota C_r a C_b pro každý segment. Na tyto průměry se aplikují fuzzy pravidla, která byla popsána na základě experimentů.

Při vysokém jasu barvy snadněji saturují, při nízkém jasu dochází ke ztrátě barevnosti. C_r a C_b se tak váhuje malou hodnotou v závislosti na jasu. Průměry kanálů C_r a C_b jsou váhovány méně pro tmavé barvy než pro světlé.

Pokud je na snímku velká jednobarevná plocha, segmentům, které tuto plochu obsahují se přiřadí malá váha.

Tato metoda potlačuje vliv velkých jednobarevných ploch na výsledek vyvážení bílé[24].

2.3.3. Metoda založená na kompenzaci jasu

Nejdříve je nutné přejít z barevného prostoru RGB do prostoru $Y C_r C_b$. K tomu jsou použity tyto vztahy[6]:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,578 & 0,114 \\ -0,16874 & -0,33126 & 0,5 \\ 0,5 & -0,41869 & -0,08131 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Pro bílý pixel pod bílým světlem jsou barevné souřadnice C_r a C_b nulové a informaci nese jenom složka Y , která je v tomto případě shodná s hodnotami kanálů R, G, B , ty jsou si pro bílou rovny. Pokud se barva světla změní, změní se i hodnoty souřadnic.

Podle metody GW se musí zjistit průměrná hodnota v kanálu resp. souřadnic $Y C_r C_b$.

$$\begin{aligned} \bar{R} - R &= \bar{C}_b + 3,488\bar{C}_r \\ \bar{G} - G &= -0,8535\bar{C}_b - 1,7768\bar{C}_r \\ \bar{B} - B &= 1,772\bar{C}_b \end{aligned} \quad (2.18)$$

V těchto rovnicích se předpokládá, že průměrná hodnota se změnou světelného zdroje nemění, tak to mu ovšem není, a proto se provádí kompenzace jasu.

$$R'(i, j) = aR^2(i, j) + bR(i, j) \quad (2.19)$$

S použitím předpokladu z metody Maximální bílé a úpravou rovnic, se získají hodnoty koeficientů a, b , pomocí kterých se upraví hodnoty v jednotlivých kanálech podle rovnice 2.19.

2.3.4. Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty

Tato metoda využívá dynamického nastavitelného prahu pro detekci bílého bodu v obraze [7].

V prvním kroku se obraz převede z prostoru RGB do prostoru $Y C_r C_b$. Obraz se rozdělí na 12 bloků a pro každý blok se spočítá průměrná hodnota M_r a M_b pro C_r a C_b . Pomocí těchto



hodnot se zjistí průměrná absolutní diference D_r a D_b pro všechny bloky. Pokud jsou tyto hodnoty příliš malé, s blokem se již nepočítá, protože neobsahuje dostatek různých barev. Díky tomu lze předejít problémům, které při vyvážení bílé způsobují velké jednobarevné objekty.

V dalším kroku se vyberou oblasti, které se blíží bílé.

$$\begin{aligned} |C_b(i, j) - (M_b + D_b \times \text{sign}(M_b))| &< 1,5 \times D_b \\ |C_r(i, j) - (1,5 \times M_r + D_r \times \text{sign}(M_r))| &< 1,5 \times D_r \end{aligned} \quad (2.20)$$

V těchto regionech se vybere 10% bodů s nejvyšším jasem a ty budou považovány za bílé.

V posledním kroku se pro každý z kanálů R, G, B spočítá hodnota zisku jako poměry maxima Y a průměrné hodnoty v kanálu a následně se tak upraví hodnota pro každý pixel [7].

$$R_{\text{gain}} = \frac{Y_{\text{max}}}{R_{\text{ave}}} \quad R' = R \times R_{\text{gain}} \quad (2.21)$$

Základní myšlenka této metody vychází z metody Gray World.

2.3.5. Robustní algoritmus využívající šedé pixely v obrazu pro vyvážení bílé

Tato metoda pracuje v barevném prostoru YUV, kde jsou informace o barvě nesené v kanálech U a V [16].

V prvním kroku se hodnoty v kanálech RGB převedou na souřadnice YUV. V tomto barevném prostoru pro šedý bod platí $Y=R=G=B$ a $U=V=0$. Pod osvětlením s nízkou teplotou chromatičnosti má obraz červený nádech a pod světlem s vysokou teplotou chromatičnosti nádech modrý. Zelený kanál není změnou teploty chromatičnosti osvětlení ovlivněn. V těchto případech neplatí pro šedé body výše zmíněná podmínka. Proto se musí kanály R a B upravit pomocí odchylek K_r a K_b tak, že:

$$\begin{aligned} R' &= (1 + K_r)R \\ B' &= (1 + K_b)B \end{aligned} \quad (2.22)$$

Tyto odchylky lze vyjádřit dosazením a úpravou rovnic pro přepočítání z prostoru RGB do YUV s použitím podmínky pro šedý bod.

Poté se definuje funkce $F(Y, U, V)$ jako:

$$\begin{aligned} F(Y, U, V) &= \frac{(|U| + |V|)}{Y} = \frac{K_r}{1 + 0,299K_r} \text{ nízká } T \\ F(Y, U, V) &= \frac{(|U| + |V|)}{Y} = \frac{K_b}{1 + 0,114K_b} \text{ vysoká } T \end{aligned} \quad (2.23)$$

Zvolí se práh T, který je menší než 1. Pokud funkce $F(Y, U, V)$ je v nějakém bodě menší než hodnota prahu T, je tento bod považován za šedý. Například pro práh 0,097 budou vybrány body, které mají nárůst v kanálu R o 10% nebo v kanálu B o 9,6% při daném osvětlení oproti hodnotě při neutrálním osvětlení.

Po tom, co se vybraly šedé pixely, spočítá se průměrná hodnota pro kanály U a V pro tyto šedé pixely. Pro stejné body se spočítá průměrná hodnota v kanálech Y, R a B. Pokud je průměrná hodnota v kanálu U větší než ve V, znamená to, že rozdíl mezi průměrnou hodnotou B a Y je



větší než rozdíl průměrů R a Y a je tedy nutné upravit zisk v kanálu B. Analogicky tato podmínka platí i pro kanál R. V tomto okamžiku dojde k samotnému vyvážení bílé podle rovnice 2.22.

2.3.6. Automatické vyvážení bílé v reálném čase

Nejdříve se metodou maximální věrohodnosti spočítá pravděpodobnost výskytu jednotlivých barev v přirozené scéně. Pro zjednodušení a snížení množství dat autoři metody použili vzorník barev nasnímaný pod osvětlením s různou teplotou chromatičnosti. Protože pravděpodobnost výskytu jednotlivých barev v přírodě není taková, jaká je u vzorníku barev, musí se hodnoty získané pomocí vzorníku upravit tak, aby výsledek byl použitelný v reálném použití [10].

V prvním kroku se vytvoří barevný histogram. Obraz se převede do barevného prostoru YC_rC_b . Aby se odstranil vliv osvětlení na barevné složky, tak se tyto složky normují pomocí jasové souřadnice Y. Histogram se spočítá pro C_r/Y a C_b/Y .

V dalším kroku se nastaví výška špiček v histogramu podle pravděpodobnosti výskytu barvy v přírodě. Histogramy získané v předchozím kroku se násobí s maskou. Masky se natrénovala na velkém množství fotografií skutečných scén.

Posledním krokem je normalizace histogramu. Zde se každý histogram normalizuje součtem všech histogramů. Tím se získá pravděpodobnost výskytu všech barev v závislosti na osvětlení.

Tato pravděpodobnost se používá přímo na čipu jako referenční hodnota. Pro každý snímek se provedou stejné 3 kroky, které jsou popsány výše a výsledek se porovná s referenční hodnotou.

2.3.7. Nový algoritmus pro vyvážení bílé používající rozpoznávání obličejů

Tato metoda popisuje algoritmus, který vyváží bílou ve snímku, který neobsahuje referenční bílý objekt, ale lidskou tvář [15].

Tato metoda využívá převod do barevného prostoru YC_rC_b , kde jsou pro vyvážení bílé podstatné jen kanály C_b a C_r . Pro barvu lidské pleti bylo experimentálně zjištěno, že hodnoty C_r leží v intervalu (133,173) a hodnoty C_b (77,127).

Nejdříve se musí provést rozpoznání obličejů, pro tento algoritmus se využívá metoda Wang K. Q. a Xing X. [15], která dosahuje přesnosti přes 90%.

Když proběhne detekce obličejů, spočítají se pro tuto oblast průměrné hodnoty. Pokud průměrné hodnoty C_r a C_b leží v intervalu hodnot pro pleť, není potřeba bílou vyvažovat. V opačném případě se použijí tyto rovnice:

$$\begin{aligned}\bar{Y}' &= \frac{77}{256} k_r \bar{R} + \frac{150}{256} \bar{G} + k_b \frac{29}{256} \bar{B} = Y = \frac{77}{256} R + \frac{150}{256} G + \frac{29}{256} B \\ \bar{C}'_r &= \frac{131}{256} k_r \bar{R} + \frac{110}{256} \bar{G} - k_b \frac{21}{256} \bar{B} + 128 \\ \bar{C}'_b &= -\frac{44}{256} k_r \bar{R} + \frac{87}{256} \bar{G} + k_b \frac{131}{256} \bar{B} + 128\end{aligned}\quad (2.24)$$

Jsou to rovnice pro přepočítání z RGB do YC_rC_b , kde \bar{R} a \bar{B} jsou průměrné hodnoty v kanálech a k_r , k_b jsou koeficienty pro vyvážení bílé, které se spočítají s první rovnicí. Ta vychází



z toho, že hodnota Y se pro různé teploty chromatičnosti nemění. V 2. a 3. rovnici se spočítá správná hodnota pro oba kanály. Nakonec se provede převod zpět do prostoru RGB.

2.3.8. Automatické vyvážení bílé pro mobilní přístroje využívající adaptivní barevné vzorky

Z barevného prostoru RGB se snímek převede do prostoru YCrCb. Pomocí 3 podmínek se všechny pixely rozdělí do 14 skupin. Z těchto skupin se vyberou adaptivní barevné vzorky pro nastavení bílé. V třetím kroku se sečtou akumulované hodnoty pixelů v jednotlivých kanálech (tyto hodnoty jsme získali při dělení pixelů do skupin). Nové hodnoty v kanálech Y, Cr, Cb se získají jako podíl součtu akumulovaných hodnot a adaptivních barevných vzorků[21].

Pomocí přepočtených rovnic na RGB získáme adaptivní vzorky R, G, B pomocí nichž spočítáme zisk pro jednotlivé kanály. Referenční hodnota se volí hodnota zisku zeleného kanálu, která se pro jednotlivé barvy dělí příslušným ziskem.

Výsledné hodnoty v kanálech R, G, B se získá vynásobením zisků s původními hodnotami.



3. Metody subjektivního hodnocení kvality videa

Po aplikaci vybraných metod vyvážení bílé na testovací fotografie a videa bude potřeba vyhodnotit, které metoda je podle pozorovatelů nejlepší. K tomu slouží subjektivní hodnocení kvality obrazu, pro které existují normy vydané Mezinárodní telekomunikační unií pro radiokomunikace (ITU-R). Jsou to normy ITU-R P.910 a ITU-R BT.500.

3.1. Podmínky experimentu

3.1.1. Průběh experimentu

Doporučení ITU-R je, aby každý experiment obsahoval minimálně 2, nejlépe však 4 opakování sekvencí za stejných podmínek. Díky tomu lze jednodušeji odstranit hodnocení pozorovatelů, jejichž hodnoty se odlišují od ostatních. Také je vhodné na začátku testu pustit krátkou sekvenci, která slouží pro zorientování se pozorovatelů. Výsledky této sekvence se do konečného hodnocení nezahrnují.

3.1.2. Pozorovací podmínky

Tab. 1 Pozorovací parametry [26]

Parametr	Nastavení
Pozorovací vzdálenost	1-8 x výška obrazu podle kvality a typu zobrazovacího zařízení
Špičkový jas obrazovky	100-200 cd/m ²
Poměr jasu vypnutá obrazovka-maximum	< 0,05
Poměr jasu černá-bílá v temné místnosti	< 0,1
Poměr jasu pozadí k maximálnímu jas monitoru	< 0,2
Barevnost pozadí	D ₆₅
Osvětlení místnosti	< 20 luxů



3.1.3. Pozorovatel

Doporučuje se, aby videa hodnotili minimálně 4 lidé, optimální počet pozorovatelů je do 40 osob. Pro relevantní výsledek by ale pozorovatelů nemělo být méně než 15.

Všichni pozorovatelé musí být barvocitliví, ověření lze provést Ishiharovým testem [26], a měli by vidět ostře.

3.2. Metody hodnocení subjektivní kvality videa pro multimediální aplikace

Tyto metody jsou popsány v normě ITU-R P.910 [26].

3.2.1. Absolutní kategorie (Absolute Category Rating)

Metoda absolutní kategorie (ACR) někdy také nazývaná Metoda jednoho stimulu (SS) je metoda, ve které jsou jednotlivé videosekvence přehrávány pozorovateli samostatně, po jedné, nezávisle na jejich parametrech. Každé video se hodnotí okamžitě po přehrání.



Obr. 7 Testovací sekvence ACR

Hodnotící stupnice této metody je následující: 5 – Výborný, 4 – Dobrý, 3 – Ucházející, 2 – Slabý, 1 – Špatný. Pro lepší rozdělení je možno použít devíti bodovou škálu.

3.2.2. Absolutní kategorie se skrytou referencí (Absolute category rating with hidden reference)

Tato metoda se od metody ACR liší tím, že v každém testu musí být zahrnuto referenční video každé sekvence, tak aby pozorovatel nevěděl, že se jedná o originál. Jedná se tedy o skrytou refe-

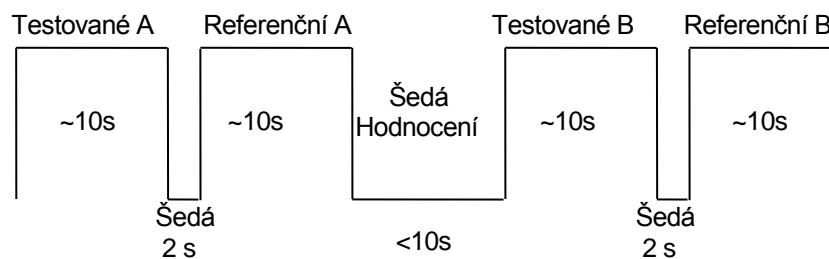


renci. Výsledné hodnocení se spočítá z hodnocení videosekvence a k ní náležící reference. Schéma testu i hodnotící stupnice je stejná jako u metody ACR.

V této metodě je důležité provést opakování testu s jinak poskládanými videi, tak aby žádné nezůstalo na svém místě a nemělo stejného souseda.

3.2.3. Metoda hodnocení s degradací (Degradation category rating)

Při této metodě se pozorovateli vide předkládají v páru, který tvoří referenční a testované video. Tento pár je vhodné předkládat v jeden časový okamžik na jednom monitoru.



Obr. 8 Testovací sekvence DCR

Testovací sekvence na obrázku ukazuje pořadí jednotlivých videí, pokud budou pozorovateli promítána postupně.

Pro tuto metodu je hodnotící stupnice následující: 5 – Neznatelný, 4 – Znatelný, ale neruší, 3 – Mírně rušivý, 2 – Rušivý, 1 – Velmi rušivý.

Pro metodu DCR je důležité, aby jednotlivé dvojice byli promítány několikrát na různé pozici.

3.2.4. Metoda porovnávání v páru (Pair comparison method)

V metodě porovnávání v páru (PC) jsou testovaná videa předkládána pozorovateli v páru. Videa se uspořádají do páru tak, aby každé video bylo porovnáváno se všemi ostatními, tj. pro videa A, B a C budou páry AB, BC, CA. Pozorovatel hodnotí, které video z páru je lepší.

3.2.5. Porovnání jednotlivých metod

Důležitá podmínka pro výběr metod je to, zda chceme používat referenční video, nebo vybrat nejlepší z několika videí nezávisle na originálu.

Pro systémy s vysokou kvalitou obrazu se nejvíce hodí metoda DCR, u které se každé video porovnává s referencí. Tato metoda se tak hodí pro všechny testy, kdy degradujeme kvalitu videa oproti originálu.

Metoda ACR je velmi rychlá a jednoduchá na implementaci. Hodí se pro kvalifikaci testovaných videí.



Metoda ACR se skrytou referencí si zachovává vlastnosti obyčejné ACR. Její výhodou je to, že hodnocení reference se může použít na snížení různých vlivů jako je divákovo zaujetí scénou a nebo malé rozdíly vlivem kamery. Tato metoda se nejvíce hodí pro rozsáhlé experimenty za podmínky, že všechna referenční videa mají dobrou kvalitu.

3.3. Metody pro subjektivní hodnocení kvality televizních obrazů

Tyto metody jsou popsány v normě ITU-R BT.500-13 [27].

3.3.1. Metoda dvojitého stimulu se sníženou kvalitou (The double-stimulus impairment scale)

Metoda dvojího stimulu se sníženou kvalitou (DSIS) má typické využití při hodnocení nových systémů nebo porovnávání přenosových tras. Při tvorbě testovaných videí je důležité, aby snižování kvality probíhalo v malých stejnoměrných krocích.

Při hodnocení se nejprve pozorovateli promítne originální video a poté video se sníženou kvalitou. Pozorovatel hodnotí pouze druhé video, které porovnává s prvním, tedy originálním, videem.

V této metodě je možné použít 2 varianty prezentace. V první variantě se každý pár přehraje pozorovateli jen jednou. Druhá varianta je časově náročnější, každý pár se promítne pozorovateli dvakrát po sobě a až po té dojde k hodnocení. Tato varianta se hodí spíše pro menší počet vzorků.

Hodnotící stupnice má 5 stupňů, a to: 5 – neznatelný, 4 – patrný, ale neruší, 3 – lehce rušivý, 2 – rušivý, 1 – velmi rušivý.

Testovací sekvence je poskládána podobně jako u dalších metod. Video by měla mít délku kolem 10 sekund, mezi originálem a testovaným videem je pauza trvající asi 3 sekundy, vyplněná šedou. Po každém páru má pozorovatel přibližně 10 sekund na hodnocení videa. Na obrazovce se opět promítá šedá.

3.3.2. Metoda dvojího stimulu s průběžnou kvalitou (The double-stimulus continuous quality-scale)

Při metodě dvojího stimulu s průběžnou kvalitou (DSCQS) se pozorovateli opět ukazují videa v páru, kdy jeden je originál a druhý je se sníženou kvalitou. Pozorovatel neví, které video je originál a hodnotí obě videa.

Sekvence videí vypadá stejně jako u metody DSIS. Jiná je hodnotící stupně. Ta je pěti stupňová a vypadá takto: Výborný, Dobrý, Ucházející, Slabý, Špatný. Vždy se hodnotí obě videa v páru.



3.4. Analýza výsledků hodnocení

Popsaný postup bude platit pro metody, při kterých se videa hodnotí číselnou škálou, tedy pro metody ACR, ACR se skrytou referencí, DCR, DSIS a DSCQS.

Nejdříve se spočítá pro každého pozorovatele a video průměrná hodnota hodnocení. Pomocí tohoto průměru se zjistí interval spolehlivosti, který slouží k selekci pozorovatelů, jejichž hodnocení se liší od většiny. Interval se určuje za pomoci směrodatné odchylky hodnocení pozorovatelů. Nakonec se výsledky vynesou do grafu. Podrobný popis analýzy pro jednotlivé metody hodnocení je popsán v příslušných normách ITU-R [26],[27].



4. Objektivní hodnocení kvality vyvážení bílé

Subjektivní hodnocení vypovídá o tom, jak se fotografie líbí skupině pozorovatelů. Pro porovnání kvality z hlediska technických parametrů, nezávisel na vybrané skupině pozorovatelů, slouží objektivní hodnocení. Níže jsou popsány metody, které jsou používány pro hodnocení kvality vyvážení bílé.

4.1. Odhad úhlové chyby

Úhlová chyba vyjadřuje úhlovou vzdálenost odhadnuté barvy osvětlení $e_a = (r_a, g_a, b_a)$ a skutečné barvy osvětlení $e_e = (r_e, g_e, b_e)$. Úhlová chybová funkce $\alpha(e_a, e_e)$ je definována následujícím vzorcem [28]:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{e_a \cdot e_e}{\|e_a\| \|e_e\|} \right), \quad (4.1)$$

kde v čitateli je skalární součin vektorů e_a a e_e a ve jmenovateli součin velikostí těchto vektorů.

4.2. Perceptuální Eukleidovská vzdálenost

Perceptuální Eukleidovskou vzdálenost (PED), je Eukleidovská vzdálenost s přidáním vah. PED je definována vzorcem [28]:

$$\text{PED}(e_a, e_e) = \sqrt{w_r (r_a - r_e)^2 + w_g (g_a - g_e)^2 + w_b (b_a - b_e)^2}. \quad (4.2)$$

Součet tří vah musí být roven jedné. Experimentálně byly váhy nastaveny s ohledem na barevnou citlivost lidského oka na následující hodnoty: $w_r = 0,21$, $w_g = 0,71$, $w_b = 0,08$ [28].

4.3. Eukleidovská vzdálenost

Eukleidovská vzdálenost v barevném prostoru CIELAB určuje rozdíl kanálů L, a, b originálního snímku se s kanály snímku s vyváženou bílou.

Eukleidovská vzdálenost se spočítá jako [20]:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}, \quad (4.3)$$



kde $\Delta L^\Phi = L^\Phi_{\text{output}} - L^\Phi_{\text{input}}$. Podobně se spočítají i zbylé dva kanály. Eukleidovskou vzdálenost lze spočítat i pro kanály RGB.

4.4. Střední kvadratická chyba

Dalším možným způsobem objektivního hodnocení kvality obrazu je střední kvadratická chyba (MSE) mezi originálním snímkem se správně vyváženou bílou a snímkem vyváženým pomocí metody na vyvážení bílé z původně špatně vyváženého snímku [25].

$$\text{MSE} = \frac{1}{3mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[(R_1(i, j) - R_2(i, j))^2 + (G_1(i, j) - G_2(i, j))^2 + (B_1(i, j) - B_2(i, j))^2 \right] \quad (4.5)$$

4.5. Průměrná chromatičnost

Tuto metody využili tvůrci metody WB s detekcí hran [11]. Čím je hodnota získaná výpočtem menší, tím je lepší kvalita. Hodnota se spočítá následovně:

$$\sqrt{C_{ab}^2 + C_{ar}^2},$$

kde hodnoty C_{ar} a C_{ab} jsou průměrné hodnoty kanálů C_r a C_b . C_{ri} a C_{bi} jsou hodnoty pro jednotlivé pixely, i je počet všech pixelů v obraze.

$$C_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^m C_{bi}}{m} \qquad C_{ar} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ri}}{n} \quad (4.6)$$



5. Ověření účinnosti metod vyvážení bílé

V této kapitole je ukázka výsledků metody vyvážení bílé aplikovaných na fotografie a videa a jejich porovnání pomocí objektivního a subjektivního hodnocení .

5.1. Výběr metod vyvážení bílé

Z metod vyvážení bílé, popsaných v kapitole 2, jsem vybrala 7 algoritmů, které jsem implementovala pomocí Matlabu. Jednotlivé metody se volají z m-filu, který načte požadovanou fotografii, zavolá metodu WB a vyváženou fotografii uloží. Metody WB jsou tedy napsané jako samostatné funkce, které od hlavního m-filu dostanou fotografii a následně si ji upraví podle potřeby, rozdělí na jednotlivé kanály, převede na jiný číselný typ nebo přepočítá do jiného barevného prostoru. Poté dojde k výpočtům potřebným k samotnému vyvážení bílé. Nakonec je vyvážený snímek vrácen v původním formátu hlavnímu m-filu, který ho uloží ve formátu JPEG. Pro video fungují metody WB stejně, rozdíl je jen v hlavním programu, který musí nejprve video rozložit na snímky, ty jednotlivě poslat metodě WB, vrácené snímky opět složit do videa a uložit. Všechny implementované metody jsou na DVD ve složce WB_fotografie, resp. WB_video

Tyto metody jsem vybírala s ohledem na kvalitu popisu metody a náročnosti samotného algoritmu. Některé metody využívají další pomocné algoritmy, jako například detekce hran nebo detekce obličeje, které zvyšují výpočetní náročnost metody. U jiných metod autoři nepopsali algoritmus tak, aby ho bylo možné implementovat.

Všechny mnou implementované metody vyvážení bílé splňují obě podmínky a pracují na různých principech, takže dobře vystihují dnešní možnosti vyvážení bílé. Jsou to tyto metody: Gray World (kapitola 2.3.1), Kombinace Gray World a Retinex (kapitola 2.3.3.), Vylepšená metoda vyvážení bílé (kapitola 2.3.4), Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh (kapitola 2.3.7), Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu (kapitola 2.3.8), Metoda založená na kompenzaci jasu (kapitola 2.4.3) a Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty (kapitola 2.4.4).

5.2. Testování na fotografiích

I když hlavním úkolem této práce je zjištění vhodnosti aplikace jednotlivých metody vyvážení bílé na video, tak kvůli náročnosti výpočtů, objektivnímu hodnocení kvality vyvážení a především subjektivnímu hodnocení, které by pro videa ze 7 metod vyvážení bílé trvalo nepřiměřeně dlouhou



dobu, jsem nejdříve otestovala kvalitu metod na fotografiích, abych na videa mohla aplikovat jen ty s dobrými výsledky.

5.2.1. Fotografie

Fotografie jsem pořídila ve studiu katedry Radioelektroniky. Kompozici jsem zvolila tak, aby na snímku byly různé barvy a zároveň předměty, u kterých pozorovatel ví, jak vypadají ve skutečnosti. Fotografie jsou na DVD ve složce WB_fotografie, kde jsou rozříděny podle použité metody WB, originály jsou v této složce zvlášť.

Tab. 2 Popis testovaných fotografií

Název fotografie	Osvětlení, režim WB fotoaparátu
hal++zar	Halogenová žárovka, část scény nasvícená wolframovou žárovkou, auto WB
hal+led	Halogenová žárovka, část scény nasvícená LED, auto WB
hal+zar	Halogenová žárovka, část scény nasvícená wolframovou žárovkou, auto WB
hal_auto	Halogenová žárovka, auto WB
hal_den	Halogenová žárovka, WB denní světlo
hal_stin	Halogenová žárovka, WB stín
hal_wolf	Halogenová žárovka, WB wolframová žárovka
hal_zar	Halogenová žárovka, WB zářivka
hal_zat	Halogenová žárovka, WB zatažená obloha
zar+led	Zářivka, část scény nasvícená LED, auto WB
zar+zar	Zářivka, část scény nasvícená wolframovou žárovkou, auto WB
zar_auto	Zářivka, auto WB
zar_auto_bp	Zářivka, auto WB, na scéně není pes
zar_den	Zářivka, WB denní světlo
zar_den_bp	Zářivka, WB denní světlo, na scéně není pes
zar_stin	Zářivka, WB stín
zar_stin_bp	Zářivka, WB stín, na scéně není pes
zar_wolf	Zářivka, WB wolframová žárovka
zar_wolf_bp	Zářivka, WB wolframová žárovka, na scéně není pes
zar_zar	Zářivka, WB zářivka
zar_zar_bp	Zářivka, WB zářivka, na scéně není pes
zar_zat	Zářivka, WB zatažená obloha

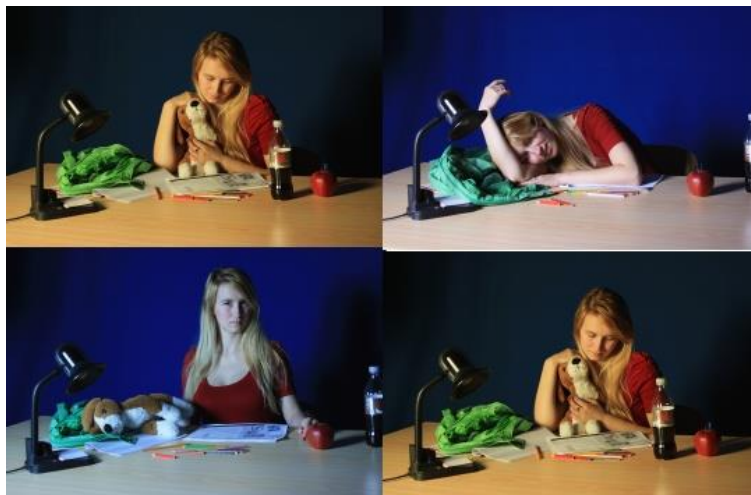


Ukázka různých osvětlení je na obrázku 10, kde jsou fotografie pořízená při osvětlení zářivkou v režimu WB stín, zářivkou v režimu stín a zářivkou v režimu zářivka.



Obr. 9 Fotografie se správným nastavením vyvážení bílé

Fotografie jsem sejmula s různým nastavením vyvážení bílé, tj. automatický režim, režim pod mrakem, zářivka apod., pro dva různé zdroje světla.



Obr. 10 Různá nastavení vyvážení bílé

V reálných prostorách dochází k situacím, kdy je část scény nasvícena jiným typem osvětlení, proto jsem zvolila i tento způsob osvětlení, abych prověřila schopnost jednotlivých metod toto kompenzovat. Ukázka takto nasvícené scény je na obrázku 11.



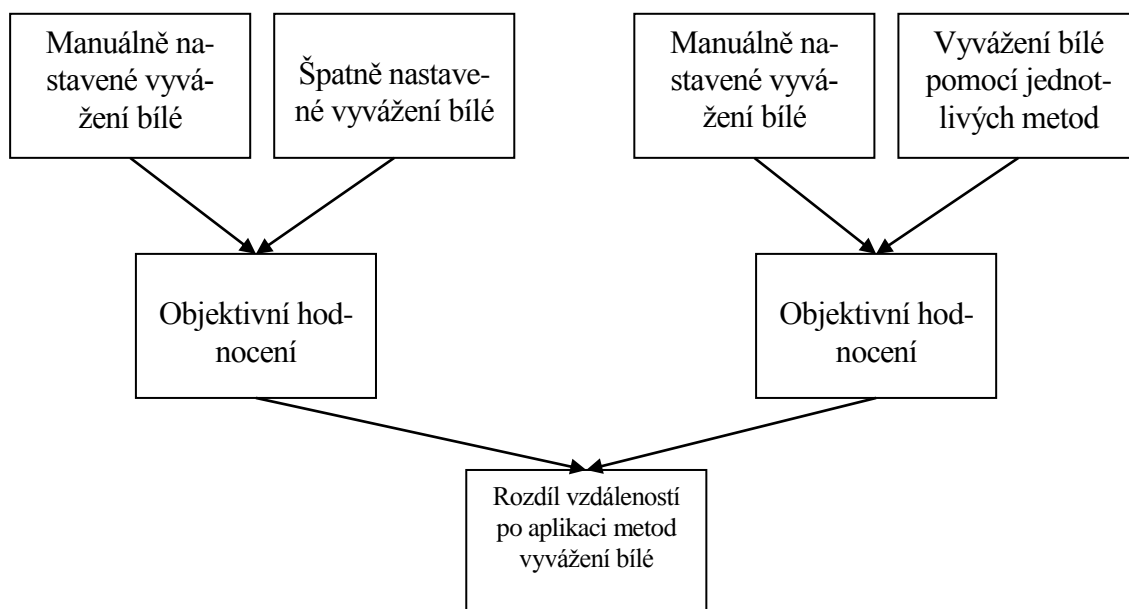
Obr. 11 Dva zdroje osvětlení

5.2.2. Objektivní hodnocení kvality vyvážení bílé

Postup

Z metod popsaných v kapitole 4 jsem použila metodu Střední kvadratické chyby (4.4), Eukleidovskou vzdálenost pro barevný prostor CIE Lab i RGB (4.3), Perceptuální kvadratickou vzdálenost (4.2) a metodu Průměrné chromatičnosti (4.5).

Kromě metody průměrné chromatičnosti a Eukleidovské vzdálenosti v barevném prostoru CIE Lab, kde v prvním případě pracuje jen s výsledným snímkem a v druhém případě porovnává vstup s výstupem metody vyvážení bílé, jsem porovnávala zlepšení proti snímku s manuálním nastavením vyvážení bílé (Obr. 9), které je obecně považováno za nejpřesnější metodu.



Obr. 12 Způsob objektivního hodnocení

Tímto způsobem lze metody vyvážení bílé rozdělit na ty, které kvalitu fotografie zlepšují a ty, které kvalitu zhoršují.



Vyhodnocení

V 5 metodách objektivního hodnocení kvality vyvážení bílé nejlepších výsledků dosahovaly metody Gray World, Kombinace Gray World a Retinex a Kompenzace jasu. Kompletní výsledky jsou v příloze B. Všechny 3 metody vyvážení bílé jsou založené na metodě Gray World. Překvapivým zjištěním je, že metody se složitějšími výpočty v objektivním hodnocení ve většině případů selhaly.

Do objektivního hodnocení jsme zařadila všech 22 fotografií s různým nastavením vyvážení bílé a 2 typy osvětlení, abych zhodnotila jednotlivé metody pro nejrozumnější možná nastavení. Pro subjektivní hodnocení vzhledem ke jeho časové náročnosti budou použity jen vybrané snímky.

Tab. 3 Výsledky objektivního hodnocení

Metoda vyvážení bílé	PED	MSE	E_k RGB	E_k Lab	Metoda průměrné chromatičnosti
	Počet zlepšených fotografií	Počet zlepšených fotografií	Počet zlepšených fotografií	Počet nejlepších výsledků	Počet nejlepších výsledků
Gray World (2.3.1)	20	18	19	0	3
Kombinace metod Gray World a Retinex (2.3.3)	15	10	17	5	3
Metoda založená na kompenzaci jasu (2.4.3)	19	16	18	8	16
Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty (2.4.4)	9	8	8	0	0
Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu (2.3.8)	4	0	6	6	1
Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh (2.3.7)	5	0	7	3	2
Vylepšená metoda vyvážení bílé (2.3.4)	4	5	4	0	0

Při hodnocení pomocí Perceptuální Eukleidovské vzdálenosti dosáhly největšího zlepšení vyvážené fotografie v nejvíce případech metody Gray World (2.3.1) a Metoda založená na kompenzaci jasu (2.4.3).

Při hodnocení pomocí MSE dosáhla bezkonkurenčně nejlepších výsledků metoda Gray World (2.3.1), která ve většině případů měla největší zlepšení proti vyfotografovanému snímku.



Naprosto selhaly metody založené na roztažení histogramu (2.3.8) a průměrném váhování a prahu (2.3.7), které nedokázaly ani v jednom případě dosáhnout zlepšení.

Stejně jako u Perceptuální Eukleidovské vzdálenosti se zde jako nejlepší metody ukázaly metoda Gray World (2.3.1), Kombinace Gray World a Retinex (2.3.2.) a Metoda založená na kompenzaci jasu (2.4.3).

Eukleidovská vzdálenost v prostoru Lab porovnává vstupní snímek, tedy ten se špatně nastaveným vyvážením bílé, a výstupní snímek s vyvážením bílé. I přes porovnávání odlišných parametrů dosáhly dobrých výsledků metody Kombinace Gray World a Retinex (2.3.2.)

a Metoda založená na kompenzaci jasu (2.4.3).

Metoda Průměrné chromatičnosti hodnotí kvalitu vyvážení naprosto odlišně, pracuje s kanály C_r a C_b výsledného snímku. Přesto nejlepších výsledků dosáhly stejné metody jako ve všech předchozích hodnocení.

Shrnutí

V tabulkách pro jednotlivé způsob objektivního hodnocení je vidět, že nejlepšího hodnocení dosahovaly, až na výjimky, opakovaně stále stejné metody, a to Gray World, Kombinace Gray World a Retinex, Metoda založená na kompenzaci jasu a Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty. Podobná situace se opakuje i na opačném konci hodnocení, kde nejhorších výsledků dosáhla Vylepšená metoda vyvážení bílé (2.3.4).

Použité metody objektivního hodnocení jsou běžně používány k hodnocení kvality vyvážení bílé. Do hodnocení Metodami PED, MSE a E_k v prostoru RGB se promítá metoda vyvážení bílé, která byla použita pro pořízení referenčního snímku. Vzhledem k tomu, že referenční snímek pomocí manuálního nastavení bílého bodu vyvážil software fotoaparátu, je možné, že jsou v hodnocení zvýhodněny ty metody, které pracují na podobném principu.

5.2.3. Subjektivní hodnocení

Objektivní metriky pro hodnocení kvality obrazu nám ukázaly jakého zlepšení jednotlivé metody vyvážení bílé dosáhly vzhledem k originálnímu snímku. Asi nejdůležitějším parametrem kvalitní fotografie je to, aby se líbila pozorovateli. Kvalitu barev nejde objektivně změřit, proto je pro celkové zhodnocení kvality jednotlivých metody vyvážení bílé důležité provést subjektivní hodnocení.

Subjektivní hodnocení kvality obrazu je rozsáhlá problematika, některé metody jsem poslala v kapitole 3. Samotné subjektivní testy proběhly ve spolupráci s kolegou Stanislavem Zdvihalem.

Metoda hodnocení

Pro subjektivní hodnocení fotografií byla vybrána metoda Pair Comparison (PC) – Porovnávání v páru. Při této metodě hodnocení se v každé sekvenci porovnává každý snímek s každým. Pozorovatel má přibližně 10 sekund na pozorování každého snímku, po té má čas na hodnocení. Tato metoda dosahuje velmi přesných výsledků hodnocení, její nevyhoupou je velká časová náročnost.



Pro zmenšení časové náročnosti byla metoda PC doplněna o metodu Adaptive Square design (ADS), které redukuje potřebný počet párů, tím, že pomocí daných kritérií některé páry označí jako nepotřebné. Kritéria pro výběr párů se opravují postupně pomocí hodnocení několika pozorovatelů [31].

Metoda vyhodnocení testů

Ze subjektivních testů získáme velké množství dat, které je potřeba zpracovat. V případě metody porovnávání v páru, která byla použita pro hodnocení kvality fotografií, se na rozdíl od jiných metod nezíská soubor číselného hodnocení jednotlivých snímků, ale data, která pro každý snímek říkají, kolikrát byl označen jako lepší z páru.

Pro zpracování výsledků našich testů byl použit Bradley – Terryův model. Pomocí tohoto modelu se vytvoří stupnice pro vyhodnocení a pro každou hodnotu se spočítá interval spolehlivosti [31].

Průběh testů

Testy byly provedeny v souladu s normami ITU-R pro subjektivní hodnocení kvality obrazu. Pozorovatel hodnocení prováděl v uživatelsky příjemném grafickém rozhraní programu Matlab. Díky zvolené metodě hodnocení stačilo pro relevantní výsledek 20 pozorovatelů, kteří před samotným hodnocením prošli testem na barvoslepost [31].

Výsledky

Výsledky pro jednotlivé fotografie jsou díky Bradley-Terryovu modelu udány jako ekvivalent střední hodnoty s intervalem spolehlivosti. Pro všechny pozorovatele se tedy získá jedna hodnota, díky tomu lze ve všech testovaných sekvencích seřadit fotografie, a tedy i metody vyvážení bílé, od subjektivně nejlepší po subjektivně nejhorší.

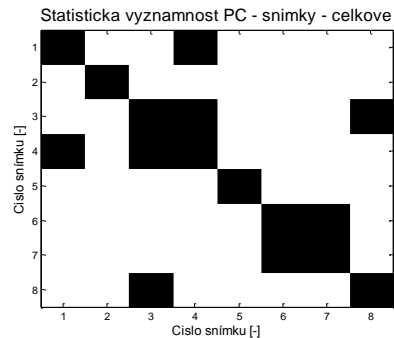
Kromě výsledných hodnot pro jednotlivé fotografie je také zajímavý graf vzájemné statistické významnosti, který ukazuje, které snímky jsou v testovacích sekvencích na sobě statistické významné (bílá barva) a které naopak významné nejsou (černá barva) [31].



Tab. 4 Výsledky subjektivního hodnocení fotografií

Způsob osvětlení	Výsledky	Gray World	Originál	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Vylepšená metoda vyvážení bílé	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
Halogenová žárovka - automatické vyvážení bílé	Výsledek BT	7,08	6,06	7,80	7,16	3,23	9,33	8,82	9,25
	Pořadí	6.	7.	4.	5.	8.	1.	3.	2.
Halogenová žárovka - WB wolframová žárovka	Výsledek BT	6,85	6,02	8,24	6,80	3,23	10,53	10,20	8,31
	Pořadí	5.	7.	4.	6.	8.	1.	2.	3.
Halogenová žárovka - WB zatažená obloha	Výsledek BT	7,43	5,25	7,57	8,46	3,22	10,70	10,45	8,93
	Pořadí	6.	7.	5.	4.	8.	1.	2.	3.
Halogenová žárovka - WB stín	Výsledek BT	6,53	4,50	6,65	8,07	2,37	7,55	7,64	6,98
	Pořadí	6.	7.	5.	1.	8.	3.	2.	4.
Zářivka - automatické vyvážení bílé	Výsledek BT	7,67	10,63	9,42	8,34	3,30	4,66	10,47	7,51
	Pořadí	5.	1.	3.	4.	8.	7.	2.	6.
Zářivka - WB denní světlo	Výsledek BT	8,38	5,94	7,82	7,81	3,21	9,58	9,44	8,69
	Pořadí	4.	7.	5.	6.	8.	1.	2.	3.
Zářivka - WB stín	Výsledek BT	7,13	4,43	7,48	6,48	2,36	9,18	7,83	7,63
	Pořadí	5.	7.	4.	6.	8.	1.	2.	3.
Zářivka - WB wolframová žárovka	Výsledek BT	5,45	5,85	6,26	5,78	2,45	8,00	7,53	4,67
	Pořadí	6.	4.	3.	5.	8.	1.	2.	7.
Zářivka - WB žárovka	Výsledek BT	8,16	10,68	9,65	7,89	3,26	5,01	10,50	10,43
	Pořadí	5.	1.	4.	6.	8.	7.	2.	3.
Celkové výsledky	Výsledek BT	7,95	7,42	8,18	8,14	3,88	8,73	8,96	8,36
	Pořadí	6.	7.	4.	5.	8.	2.	1.	3.

V tabulce jsou výsledky testovaných snímků, na rozdíl od objektivního hodnocení zde nebyly testovány všechny fotografie, ale pouze vybrané snímky. I v tomto redukovaném množství byla délka testu na horní hranici časové náročnosti.



Obr. 13 Vzájemná statistická významnost

Na grafu vzájemné statistické významnosti pro všechny testovací sekvence. Číslo na osách odpovídají pořadí fotografií v tabulce 4. Pro všechny snímky platí, že porovnání s nimi samými je statisticky nevýznamné, v některých případech je vidět, že je nevýznamné i porovnání s jinými snímky.

K mému překvapení vyšly výsledky subjektivních a objektivních testů ve většině případů naprosto odlišně. Jedno z možných vysvětlení je to, že manuální nastavení vyvážení bílé ve fotoaparátu, které bylo použito pro pořízení referenčních snímků pro metody objektivního hodnocení, může využívat metody založené na Gray World, a tak metody vyvážení bílé pracující na tomto principu vyšly z objektivního hodnocení nejlépe. Pokud by tomu tak bylo, tak by metody pracující na principu GW měly značnou výhodu. Pokud by referenční snímek byl, byť s manuálně nastaveným bílým bodem, vyvážený metodou na principu Gray World, měly by se všechny metody vyvážení bílé, které pracují na tomtéž principu, k tomuto snímku přiblížit, protože všechny barevné kanály upravují velmi podobným způsobem jako metoda fotoaparátu. Pokud pracují správně, měla by se tedy Eukleidovská vzdálenost jednotlivých pixelů korigovaného a referenčního snímku zmenšovat a v ideálním případě se blížit nule. Metody pracující na odlišných principech upravují barevné kanály odlišným způsobem, takže i přes správné určení bílé barvy, těžko dosáhnou při porovnání se snímek vyváženým jiným způsobem, i přes správnou funkci, větší podobnosti a tedy menší Eukleidovské vzdálenosti pro všechny pixely. I přes tento možný problém jsou uvedené metody objektivní běžně používaným způsobem hodnocení.

Dalším možným vysvětlením je, že snímky vyvážené metodami na principu GW často přicházejí o barevnost a pozorovatelé, kteří fotografie hodnotili, preferují snímky s živějšími barvami na úkor vyvážení bílé, pokud vyvážení není opravdu velmi špatné.

Nejhůře, a to s velkým odstupem na zbytek metod, byla pozorovateli hodnocena Vylepšená metoda vyvážení bílé, ostatní metody v celkovém hodnocení dosahovaly podobných hodnot.

Shrnutí

Subjektivní testy ukázaly, že všechny aplikované metody vyvážení bílé, až na Vylepšenou metodu vyvážení bílé, dosáhly v celkovém hodnocení lepších výsledků než originální fotografie. Z toho lze vyvodit, že tyto metody plní svoji funkci.

Bohužel nejde jednoznačně vybrat metody vhodné k aplikaci na video, takže testovací videa budou vyvážena všemi způsoby, pro zajímavost i Vylepšenou metodou vyvážení bílé, která na fotografiích naprosto selhala, pouze pro účely subjektivních testů, kvůli jejich časové náročnosti,



některé metody, na základě svého subjektivního názoru a s pomocí objektivního hodnocení, vyřadím.

5.2.4. Vzájemný vztah mezi objektivním a subjektivním hodnocením

K popisu vzájemného vztahu mezi různými proměnnými se nejčastěji používají korelační koeficienty. Konkrétně Pearsonův a Spearmanův korelační koeficient [29], [30].

Pearsonův korelační koeficient

Tento koeficient ukazuje linearitu mezi dvěma skupinami proměnných [29].

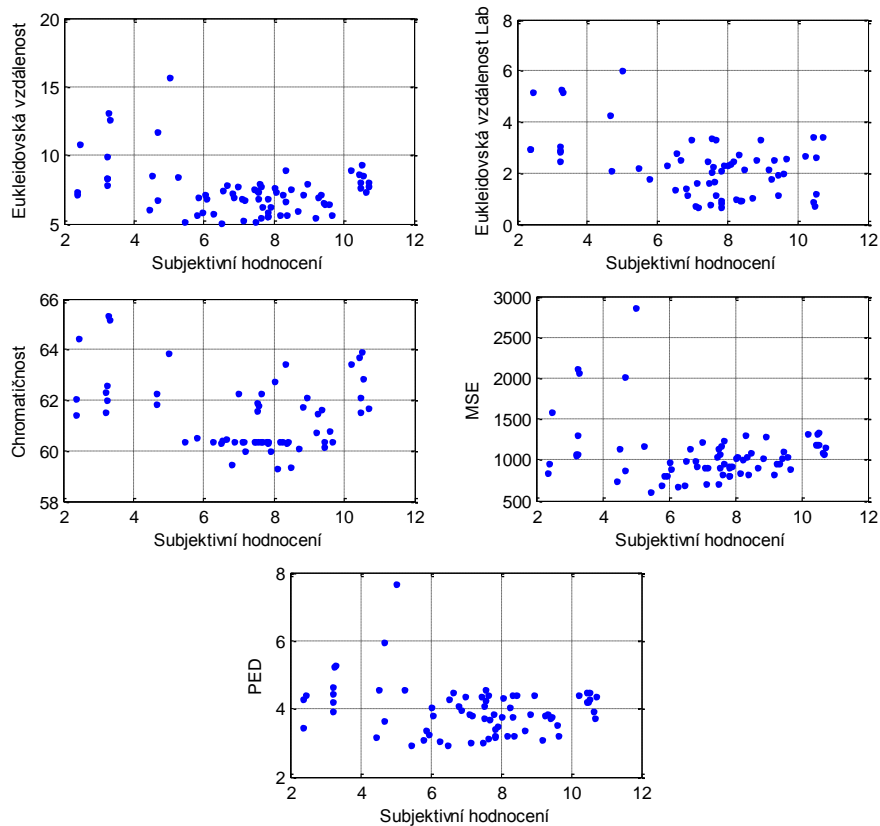
$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.1)$$

kde $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ a $\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$. Nabývá hodnot v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$. Čím blíže je hodnota koeficientu krajní hodnotě intervalu, tím více spolu hodnoty x a y korelují. Pokud je $r=0$, žádný korelační vztah mezi hodnotami neexistuje. Většinou se uvádí, že nějaký vztah mezi hodnotami x a y existuje od $|r| = 0,4$ [29].

Pokud by výsledky objektivních a subjektivních testů spolu korelovaly, měla by se hodnota Pearsonova korelačního koeficientu blížit -1 , což odpovídá negativní korelaci mezi výsledky jednotlivých hodnocení. O negativní korelaci by mělo jít proto, že u subjektivního hodnocení nejvyšší hodnota ukazuje na nejlepší výsledek a u všech metod objektivního hodnocení naopak nižší hodnota značí nejlepší výsledek.

Tab. 5 Pearsonův korelační koeficient

Metoda objektivního hodnocení	Pearsonův korelační koeficient
Eukleidovská vzdálenost	-0,312
Eukleidovská vzdálenost Lab	-0,458
Chromaticnost	-0,256
MSE	-0,185
PED	-0,205



Obr. 14 Grafy závislosti objektivního hodnocení na subjektivním

Spearmanův korelační koeficient

Tento korelační koeficient nepracuje se samotnými hodnotami veličin, ale s jejich vzájemným pořadím [30].

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum D_i}{n(n^2 - 1)}, \quad (5.2)$$

kde D_i je rozdíl mezi pořadím veličiny x_i a y_i . Stejně jako Pearsonův koeficient nabývá hodnot v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$. Hodnota r_s na kraji intervalu znamená, že vztah mezi x a y leží na klesající nebo rostoucí funkci.

Spearmanův koeficient se vyhodnocuje podle tabulky Kritické hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu r_{sp} , kde se s ohledem na počet prvků x nebo y a požadovanou hladinu významnosti (pravděpodobnost zamítnutí nulové hypotézy přesto, že platí) vybere kritická hodnota Spearmanova koeficientu. Pokud je absolutní hodnota spočítaného koeficientu větší, je pořadový koeficient významný pro zvolenou hladinu významnosti [30].



Tab. 6 Spearmanův korelační koeficient

Metoda objektivního hodnocení	Spearmanův korelační koeficient
Eukleidovská vzdálenost	-0,101
Eukleidovská vzdálenost Lab	-0,276
Chromatičnost	-0,091
MSE	0,124
PED	-0,099

I když se v tabulce zvolí nejvyšší možná hladina významnosti 0,1, což znamená, že správný výsledek dostaneme v 90 %, je významný Spearmanův koeficient pouze u metody Eukleidovské vzdálenosti v prostoru Lab.

Vyhodnocení

Z výsledků korelačních koeficientů vyplývá, že z výsledků objektivního hodnocení nelze předikovat výsledky hodnocení subjektivního. Výsledky obou hodnocení jsou na sobě nezávislá.

5.3. Vyvážení bílé ve videu

5.3.1. Videá

Kromě špatného nastavení bílé, se kterým se setkáváme i při fotografování, dochází často při natáčení videa ke změně osvětlení během jednoho záběru. V této části práce jsem se zabývala schopností metod vyvážení bílé tento problémem, se kterým si většinou automatické vyvážení bílé nedokáže okamžitě poradit, minimalizovat.

Při natáčení videí jsem volila podobný obsah scény jako u fotografií, tedy aby záběry obsahovaly všem známé barvy. Změnu osvětlení jsem realizovala dvěma způsoby. Jednak opravdovou změnou typu osvětlení, a nebo změnou typu automatického vyvážení bílé během natáčení. Na oba způsoby reagují algoritmy pro vyvážení bílé stejně, proto jsem pro většinu testovacích videí volila druhou metody s přepínáním vyvážení bílé, která je méně náročná na potřebnou techniku.



Obr. 15 Změna vyvážení bílé u videa

Natočila jsem několik videí se změnou vyvážení bílé z nastavení vhodného pro teplou barvu osvětlení na nastavení pro studenou barvu a naopak pro různé typy scén.

Tab. 7 Seznam videí

Video	Číslo sekvence subjektivních testů	Popis
Video 4	1	Změna WB ze studeného na teplé světlo, město v pozadí
Video 6	2	Změna WB ze studeného na teplé světlo, v pozadí borovice
Video 9	3	Změna WB z teplého na studené a neutrální světlo, v pozadí obloha s mraky
Video 12	4	Změna WB z teplého na studené světlo, město
Video 15	5	Změna WB z teplého na studené světlo, autobus
Video 16	6	Změna osvětlení z teplého na studené, studio
Video 17	netestováno	Osvětlení části scény jiným zdrojem světla, studio
Video 18	7	Změna osvětlení ze studeného na teplé, studio

5.3.2. Objektivní hodnocení kvality přechodu

Objektivní hodnocení kvality vyvážení bílé jsem provedla u testovacích fotografií, a proto mě u videa zajímat nebude. Pro vyvážení bílé je pro mě ve videu důležitá schopnost minimalizovat změnu osvětlení. Z tohoto důvodu jsem mezi sebou neporovnávala video před a po vyvážení bílé, ale snímky z jednoho videa mezi sebou. Pro každé 2 po sobě následující snímky jsme spočítala Eukleidovskou vzdálenost podle vzorce:

$$E_k = \frac{1}{3 \cdot M \cdot N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sqrt{(R_k(i, j) - R_{k+1}(i, j))^2 + (G_k(i, j) - G_{k+1}(i, j))^2 + (B_k(i, j) - B_{k+1}(i, j))^2} \quad (5.3)$$

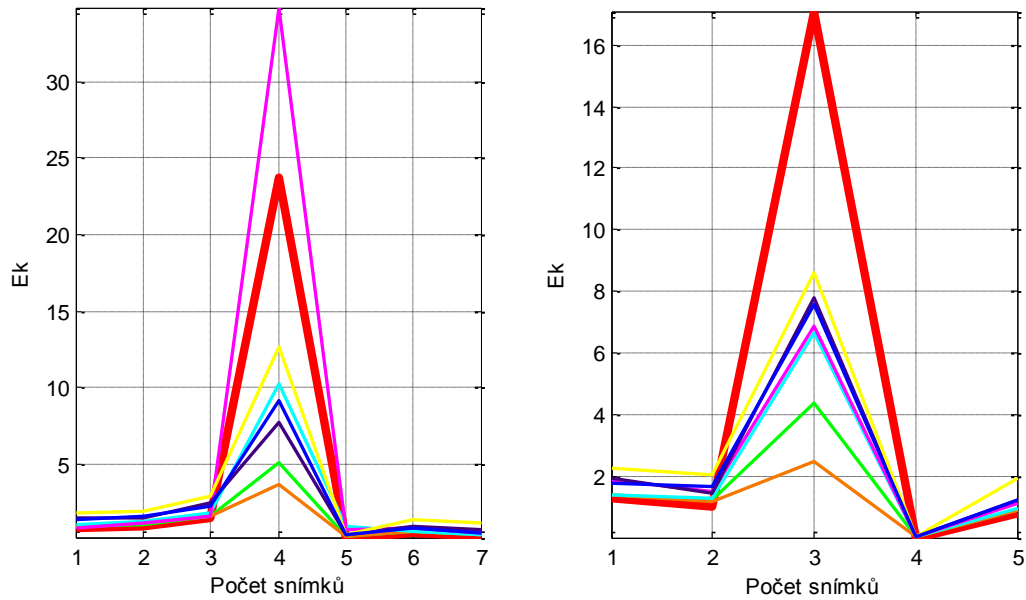
Tento výpočet jsem provedla pro každou sérii videí a spočítané Eukleidovské vzdálenosti jsem vynesla do grafů.

V každém grafu je Eukleidovská vzdálenost pro jedno video vyvážené různými metodami. Je zde tedy již zohledněna změna scény mezi snímky, takže výsledné křivky ukazují schopnost jednotlivých metod vyvážení bílé si barevným přechodem poradit v té dané scéně.

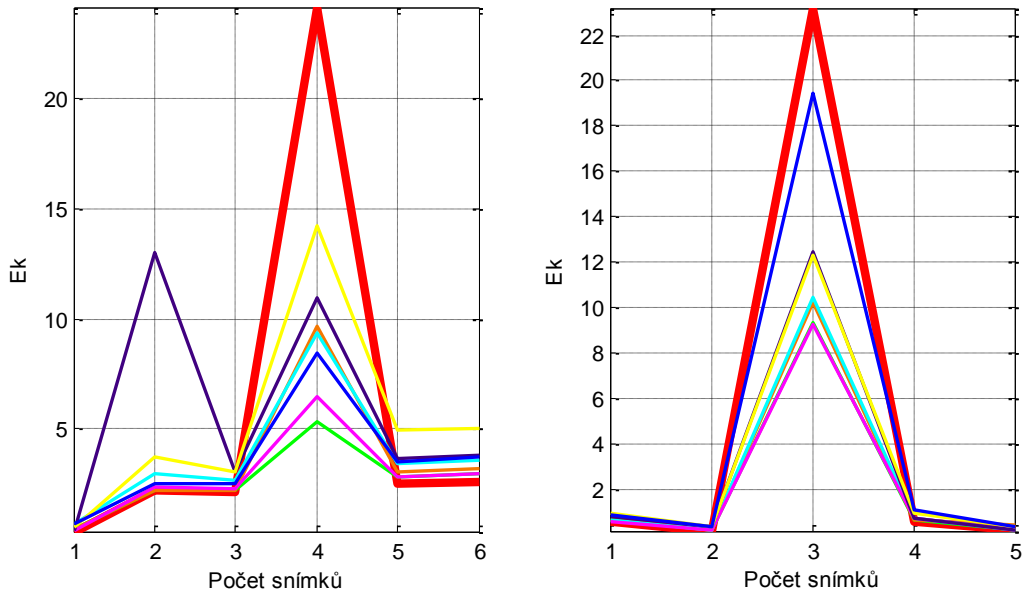


- Natočené
- Gray World
- Kombinace Gray World a Retinex
- Metoda založená na kompenzaci jasu
- Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
- Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu
- Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
- Vylepšená metoda vyvážení bílé

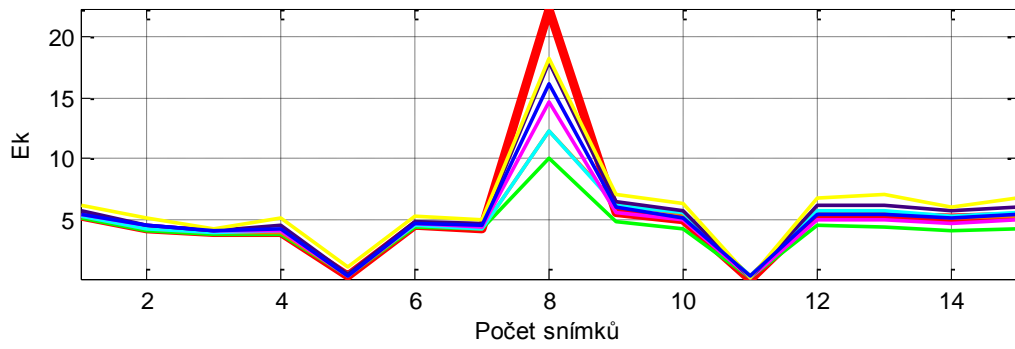
Obr. 16 Legenda



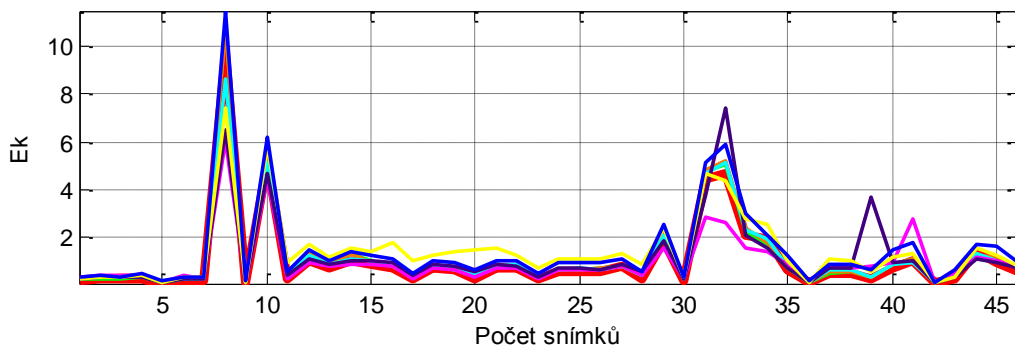
Obr. 17 Přechod u videa 4 a 6



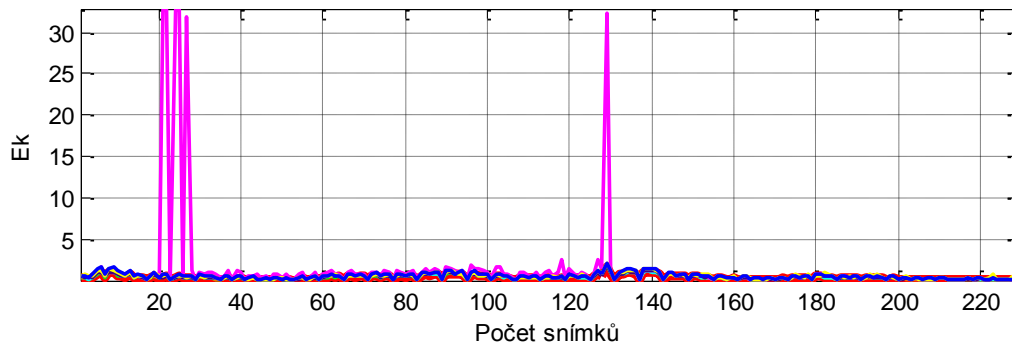
Obr. 18 Přechod u videa 9 a 12



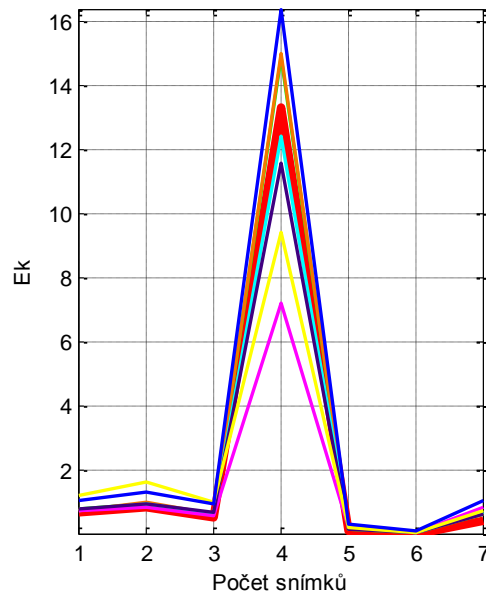
Obr. 19 Přechod u videa 15



Obr. 20 Přechody u videa 16



Obr. 21 E_k videa 17



Obr. 22 Přechod u videa 18

V grafech Eukleidovské vzdálenosti pro celé video v některých případech vznikají po vyvážení velké změny, i tam kde žádný přechod není. To je vidět na grafu pro video 17, u kterého jsem nepoužila změnu osvětlení z jednoho typu na druhé, ale během záběru došlo rozsvícení dalšího světla. V jednom případě k tomu dochází u vyvážení metodou roztažení histogramu a v tomtéž videu i u metody založené na kompenzaci jasu. U tohoto videa je možné, že metody reagují na změnu pozadí, které tvoří obloha s mraky.

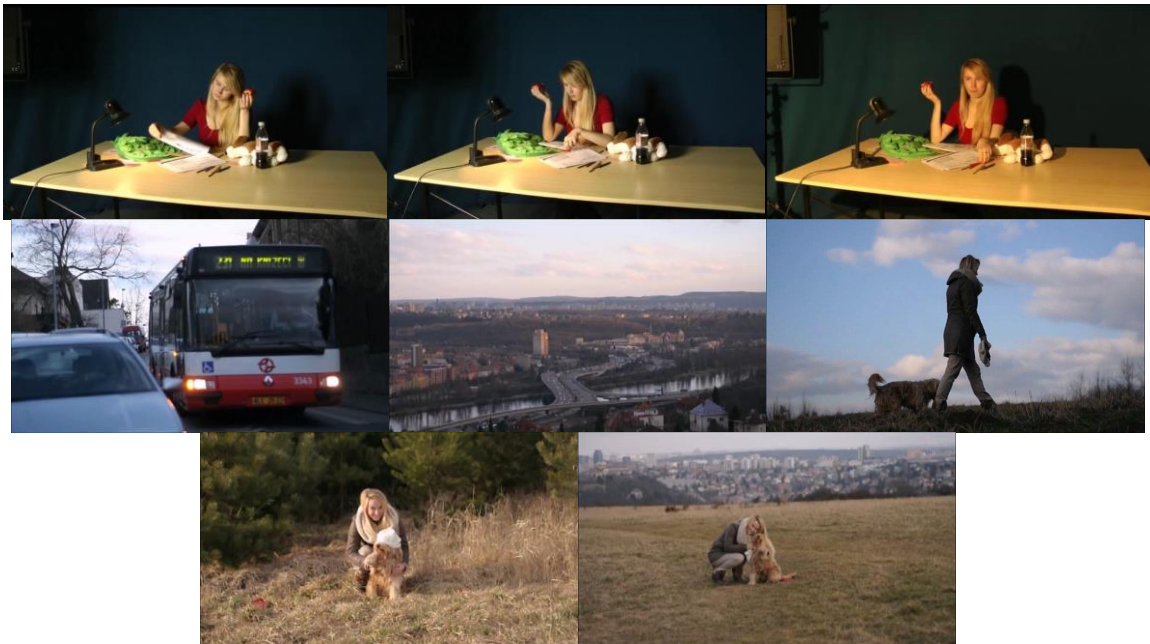


Obr. 23 Video 9

U tří videí, mezi která patří i video 17, tento jev vzniká u metody Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty. Tato videa byla pořízená ve stejném prostředí jako testovací videa.

Vyhodnocení

Výsledky objektivního hodnocení kvality přechodu mezi různými druhy osvětlení jsem pro jednotlivá videa shrnula v následující tabulce.



Obr. 24 Videá 18 – 4



Tab. 8 Eukleidovská vzdálenost přechodu osvětlení

Číslo videa	18	17	16	15	12	9	6	4
Metoda WB	Maximální Ek	Průměrná Ek	Průměrná Ek	Maximální Ek	Maximální Ek	Maximální Ek	Maximální Ek	Maximální Ek
Natočené	13,31	0,32	1,07	22,31	23,19	26,58	17,09	23,76
Gray World	14,89	0,37	1,84	10,09	9,35	11,34	4,90	5,03
Kombinace Gray World a Retinex	14,99	0,37	1,74	12,27	10,26	12,94	4,87	3,69
Metoda založená na kompenzaci jasu	12,39	0,38	1,65	12,30	10,44	14,17	6,66	10,19
Nová metody vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	9,32	1,39	4,04	14,62	9,25	8,80	6,88	34,85
Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	11,58	0,39	1,70	17,95	12,48	15,91	7,78	7,76
Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	9,40	0,47	2,13	18,28	12,28	14,26	8,59	12,70
Vylepšená metoda vyvážení bílé	16,37	0,51	2,21	16,21	19,46	11,49	7,60	9,12

Pro videa 16 a 17, u kterých počítala průměrná Eukleidovská vzdálenost, vyšly všechny metody hůře než originální video. Pravděpodobně to vzniklo tím, že jednotlivé metody počítají vyvážení bílé pro každý snímek zvlášť nezávisle na sousedních snímcích, takže tím zvětšují E_k . Pouhým okem tento rozdíl není vidět

Z ostatních výsledků objektivního hodnocení schopnosti metod vyvážení bílé redukovat přechod mezi typy osvětlení ve videu vyplývá, že realizované metody vyvážení bílé nejsou schopné přechod dokonale odstranit, ale dokáží ho do značné míry zredukovat.



Obr. 25 Redukce přechodu pomocí metody Kombinace Gray World a Retinex



Na obrázku je vidět jeden velmi zdařilý pokus redukce přechodu. Jedná se o snímky ze stejného videa jako na obrázku 15 v úvodu této kapitoly, kde je rozdíl mezi snímky viditelný. Po aplikaci metody vyvážení bílé Kombinace Gray World a Retinex je pro lidské oko rozdíl téměř nepostřehnutelný.

5.3.3. Subjektivní hodnocení

Výsledky objektivního hodnocení videa jasně ukazují, že většina metod vyvážení bílé redukuje rozdíl mezi snímky před a po změně osvětlení. Stejně jako i subjektivního hodnocení fotografií je teď důležité ověřit, zda i z pohledu pozorovatelů došlo ke zlepšení kvality videí.

Výběr testovacích videí

Pro subjektivní testy byla použita stejná videa jako pro objektivní hodnocení, aby bylo možné porovnat výsledky obou metod. Vyřazeno bylo video 17, kde podle grafu Eukleidovské vzdálenosti nedochází k žádné výrazné změně osvětlení.

Protože subjektivní testy mají podle doporučení ITU-R předepsanou maximální dobu trvání, vyřadila jsem 2 metody, které měly podle mého názoru nejhorší kvalitu obrazu. Vyřazení se týkalo Vylepšená metoda vyvážení bílé (2.3.4), která měla špatné výsledky už pro testování kvality vyvážení bílé na fotografiích a do objektivních testů pro videa jsem ji zařadila proto, že mě zajímalo zda si i přes špatnou kvalitu obrazu poradí s přechodem osvětlení. V porovnání s ostatními metodami na tom byla hůře, takže bylo zbytečné ji zařazovat do subjektivního testování. Druhou vyřazenou metodou byla Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh. I když v subjektivních testech fotografií byla hodnocena průměrně, ve videu vznikali nepříjemné tmavé plochy na tmavých nebo naopak světlých objektech. I podle výsledků Eukleidovské vzdálenosti na přechodu osvětlení tato metoda nepatřila k nejlepším, takže také nebyla použita pro účely subjektivního hodnocení.



Obr. 26 Vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh – tmavé plochy

Pro subjektivní testy tak bylo vybráno 6 metod vyvážení bílé včetně originálních záznamů, každou metodou bylo vyváženo 7 různých videí.



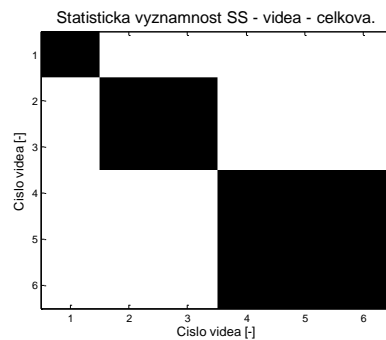
Výběr metody hodnocení

Stejně jako u subjektivních testů fotografií jsem o na subjektivních testech spolupracovala se Stanislavem Zdvihalem. Pro hodnocení videí jsem zvolila Metodu jednoho stimulu se skrytou referencí, metoda je popsána v kapitole 3. Testovací sekvence obsahuje jak originální vedou, tak video vyvážené všemi testovanými metodami WB. Díky tomu lze získat podobné srovnání jako u objektivního hodnocení, tedy to jak pozorovatelé vnímají rušivost přechodu mezi osvětlením u jednotlivých videí.

Výsledky

Pozorovatelé hodnotili rušivost videa na stupnici 1-5, kde 1 odpovídalo nejméně a 5 nejvíce rušivému přechodu. Z výsledků od všech hodnotících se počítala střední hodnota s intervalem spolehlivosti. Výsledky pro jednotlivé testovací sekvence jsou v tabulce 11.

Pro každou sekvenci vznikl graf vzájemné statistické významnosti, který ukazuje, která videa jsou v testovacích sekvencích na sobě statisticky významné (bílá barva) a které naopak významné nejsou (černá barva). Testovací sekvence byly očíslovány 1-7 [31].



Obr. 27 Celková statistická významnost videí v sekvenci



Tab. 9 Výsledky subjektivního hodnocení videa

Video	Výsledky	Originál	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
Video 4	Střední hodnota	4,483	2,866	2,532	3,604	4,041	4,386
	Pořadí	6.	2.	1.	3.	4.	5.
Video 6	Střední hodnota	4,067	2,285	1,892	3,459	3,579	3,088
	Pořadí	6.	2.	1.	4.	5.	3.
Video 9	Střední hodnota	4,699	3,250	3,979	4,095	4,274	3,783
	Pořadí	6.	1.	3.	4.	5.	2.
Video 12	Střední hodnota	4,741	2,925	3,318	4,308	3,945	3,952
	Pořadí	6.	1.	2.	5.	3.	4.
Video 15	Střední hodnota	4,594	3,053	3,239	4,528	3,761	4,339
	Pořadí	6.	1.	2.	5.	3.	4.
Video 16	Střední hodnota	3,292	2,590	2,638	2,972	2,534	4,738
	Pořadí	5.	2.	3.	4.	1.	6.
Video 18	Střední hodnota	3,571	2,596	2,434	2,826	2,579	2,645
	Pořadí	6.	3.	1.	5.	2.	4.
Celkové výsledky	Střední hodnota	4,207	2,795	2,832	3,685	3,531	3,848
	Pořadí	6.	1.	2.	4.	3.	5.

Shrnutí

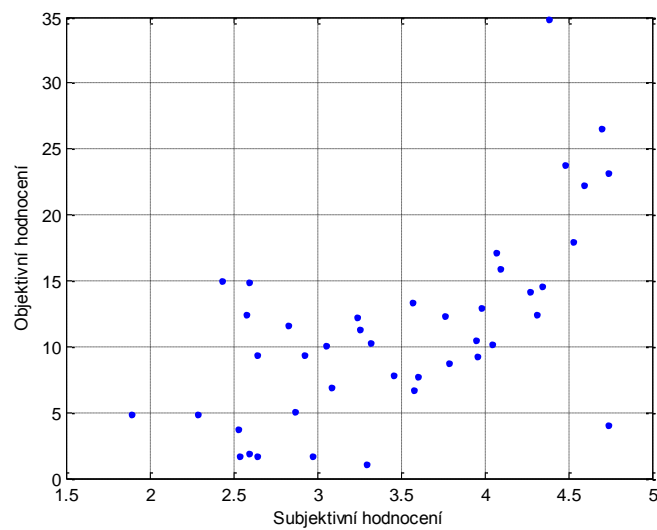
Podle subjektivního hodnocení barevný přechod ve videu nejlépe redukuje metody Gray World (2.3.1) a Kombinace Gray World a Retinex (2.3.2.), tedy metody, které v testování kvality vyvážení bílé na fotografiích nedopadly nejlépe, jako se jediné v hodnocení nedostaly nad hodnotu 3, což je úroveň, kdy je barevný přechod již viditelný, ale není moc rušivý. Při úpravách pomocí těchto metod dochází v porovnání s originálem, nebo i výsledky ostatních metod, ke ztrátě barevnosti, vyvážený snímek má šedý nádech. Tato vlastnost, kvůli které nebyly tyto dvě metody v subjektivním hodnocení fotografií pozorovateli hodnoceny nejlépe, může být příčinou kladného hodnocení u videa. Tím, že dojde k ztrátě barevnosti, zmenší se rozdíl mezi teplým a studeným osvětlením, tedy i Eukleidovská vzdálenost mezi snímky na přechodu osvětlení. Naopak Rychlé automatické



vyvážení bílé založené na roztažení histogramu (2.3.8) a Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty (2.4.4), které vyšly nejlépe u subjektivních testů fotografií, v tomto testu skončily nejhůře, přechod je viditelný a začíná být rušivý.

5.3.4. Vzájemný vztah mezi objektivním a subjektivním hodnocením videa

Opět jsem pro toto srovnání použila Pearsonův a Spearmanův korelační koeficient. Teoretický popis je v kapitole 5.2.4.



Obr. 28 Závislost objektivního na subjektivním hodnocení

V grafu závislosti objektivního hodnocení, tedy maximální Eukleidovské vzdálenosti, na subjektivním hodnocení je vidět, že na rozdíl od fotografií zde, až na výjimky, existuje závislost. To potvrzují i výsledky korelačních koeficientů. Pearsonův korelační koeficient pro tato dvě hodnocení má hodnotu 0,624, to znamená, že i když lineární závislost není úplná, existuje. Spearmanův korelační koeficient má hodnotu 0,591, to znamená, že koeficient je významný a existuje vazba mezi subjektivním a objektivním hodnocením.

Oba korelační koeficienty ukazují na to, že z výsledků Eukleidovské vzdálenosti pro barevný přechod ve videu je pravděpodobně možné predikovat výsledky subjektivního hodnocení.



6. Závěr

V této práci jsem ověřila účinnost různých metod vyvážení bílé na fotografiích a na videu. Většina metod vyvážení bílé je navržena pro použití na fotografiích, v této práci mě zajímalo, jak budou fungovat při aplikaci na video.

V Matlabu jsem vytvořila funkce pro vybrané metody vyvážení bílé, ty jsem za pomoci hlavního m-filu, který slouží k načtení originálního a uložení vyváženého snímku, aplikovala na sérii testovacích fotografií, které jsem pořídila ve studiu katedry Radioelektroniky.

Účinnost těchto metod jsem ověřila nejprve pomocí objektivního hodnocení, které se pro vyvážení bílé používá. Nejběžnějším ukazatelem kvality obrazu je střední kvadratická chyba, Eukleidovská vzdálenost, která se pro vyvážení bílé používá ve třech různých modifikacích, k těmto běžně používaným metodám jsem přidala metodu výpočtu chromatičnosti snímku, kterou pro účely zhodnocení kvality vyvážení bílé připravili autoři jedné z metod WB. Z objektivního hodnocení vyšly nejlépe metody na principu Gray World.

Na stejných fotografiích jsem provedla subjektivní testy. Ty k mému překvapení nekorespondovaly s výsledky objektivního hodnocení. Možné vysvětlení jsem popsala v kapitole 5.2.3. Pomocí korelačních koeficientů jsem ověřila, že opravdu mezi výsledky obou hodnocení neexistuje žádný vzájemný vztah.

V další části jsem se věnovala videu. Protože funkčnost jednotlivých algoritmů jsem si ověřila na fotografiích, u videa mě zajímala schopnost jednotlivých metod WB redukovat změnu barvy vlivem přechodu osvětlení.

Část videí jsem natočila ve studiu jako testovací fotografie. Tato videa obsahovala reálnou změnu typu osvětlení. Protože tento způsob barevného přechodu je náročný na techniku, větší část videí, po ověření, že metody vyvážení bílé reagují stejně, jsem natočila v exteriéru a změnu osvětlení jsem simulovala přepnutím režimu vyvážení bílé.

Natočená videa jsem v Matlabu snímek po snímku vyvážila. K posouzení kvality jsem opět použila objektivní i subjektivní hodnocení. Jako objektivní hodnocení jsem použila Eukleidovskou vzdálenost, kterou jsem počítala mezi jednotlivými snímky videa. Díky tomuto způsobu je jasně patrná změna na barevném přechodu. Nejlépe zafungovaly metody na principu Gray World.

Opět byla provedena série subjektivních testů. Tentokrát výsledky korespondovaly s objektivním hodnocením, což se potvrdilo i korelačními koeficienty.

Pokud se v konečném hodnocení zaměřím na funkčnost vyvážení bílé ve videu, což bylo hlavním účelem této práce, tak bych jako nejhodnější metody označila Kombinace Gray World a Retinex a Gray World. Přestože tyto metody v subjektivním hodnocení fotografií skončily až v druhé polovině hodnocení, jejich odstup od nelepších nebyl nijak veliký. Při testování na videu měly od zbytku metod odstup, jediné se v celkovém hodnocení nedostaly přes hodnotu 3, která představuje přechod, kdy je barevná změna ještě akceptovatelná a kdy je už rušivá. Podle mého



názoru je právě schopnost potlačit zněny osvětlení u amatérského videa důležitější než malá ztráta barevnosti, která je často těmito dvěma metodám vyčítána.



7. Použité zdroje

7.1. Literatura

- [1] Vladimír Vít – Televizní technika-přenosové barevné soustavy, nakladatelství BEN Praha 1997, ISBN 80-86056-04-X
- [2] Gaurav Sharma – Digital Color Imaging Handbook, CRC Press USA 2003, ISBN 0-8493-0900-X
- [3] Naboru Ohta, Alan R. Robertson – Colorimetry - Fundamentals and Applications, Johny Wiley & Sons Ltd. Chichester England 2005, ISBN 0-470-09472-9
- [4] Daniel Malacara – Color vision and colorimetry : theory and applications, SPIE Press Bellingham USA 2002, ISBN 0-8194-4228-3
- [5] Henry R. Kang - Computational Color Technology, SPIE Press Monograph, ISBN-13: 978-0819461193
- [6] Zhong Jian, Yao Sutiny, Xu Jiangtao - Development and Implementation of Automatic White Balance Based on Luminance Compensation, Intelligent Information Technology Application, 2008. IITA '08. Second International Symposium on (Volume:2), Print ISBN: 978-0-7695-3497-8
- [7] Ching-Chih, Chen, H., Chiou-Shann Fuh - A novel automatic white balance method for digital still cameras, Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium on, Print ISBN: 0-7803-8834-8
- [8] Lam, E.Y. - Combining gray world and retinex theory for automatic white balance in digital photography - Consumer Electronics, 2005. ISCE 2005. Proceedings of the Ninth International Symposium on, Print ISBN:0-7803-8920-4
- [9] <http://courses.cs.washington.edu> - Edmund Y. Lam and George S. K. Fung , Automatic White Balancing in Digital Photography [online]
- [10] Buyue Zhang; Batur, A.U. - A real-time auto white balance algorithm for mobile phone cameras, Consumer Electronics (ICCE), 2012 IEEE International Conference on, Print ISBN: 978-1-4577-0230-3
- [11] Jinlong Lin - An Automatic White Balance Method Based on Edge Detection, Consumer Electronics, 2006. ISCE '06. 2006 IEEE Tenth International Symposium on, Print ISBN: 1-4244-0216-6
- [12] Su Wang, Yewei Zhang, Peng Deng, Fuqiang Zhou - Fast automatic white balancing method by color histogram stretching, Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress on (Volume:2), Print ISBN: 978-1-4244-9304-3
- [13] Shen-Chuan Tai, Tzu-Wen Liao, Yi-Ying Chány, Chih - Pei Yeh - Automatic White Balance algorithm through the average equalization and threshold, Information



- Science and Digital Content Technology (ICIDT), 2012 8th International Conference on (Volume:3), Print ISBN: 978-1-4673-1288-2
- [14] R. Lukac - Refined automatic white balancing, Electronics Letters (Volume:43 , Issue: 8), ISSN: 0013-5194
 - [15] Bo Hu, Qing Lin, Xuelei Kang, Guangmeng Chen - A new algorithm for automatic white balance with priori, Circuits and Systems, 2000. IEEE APCCAS 2000. The 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on, Print ISBN: 0-7803-6253-5
 - [16] Jun-yan Huo, Yi-lin Chang, Jing Wang, Xiao-xia Wei - Robust automatic white balance algorithm using gray color points in image, Consumer Electronics, IEEE Transactions on (Volume:52 , Issue: 2), ISSN: 0098-3063
 - [17] Radu Ciprian Bilcu - Multiframe Auto White Balance, Signal Processing Letters, IEEE (Volume:18 , Issue: 3), ISSN: 1070-9908
 - [18] Podpora produktu Matlab www.mathworks.com/
 - [19] Edmund Y. Lam and George S. K. Fung , Automatic White Balancing in Digital Photography [online]
 - [20] Hong-Kwai Lam, Au, O.C., Chih-Wah Wong - Automatic white balancing using standard deviation of RGB components, Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04. Proceedings of the 2004 International Symposium on (Volume:3), Print ISBN: 0-7803-8251-X
 - [21] Wonwoo Jang, Kyoungsoo Son, Joohyun Kim, Bongsoon Kang - Auto white balance system using adaptive color samples for mobile device, Circuits and Systems, 2008. APCCAS 2008. IEEE Asia Pacific Conference on, Print ISBN:978-1-4244-2341-5
 - [22] Sujung Kim, Wook-Joong Kim, Seong-Dae Kim - Automatic white balance based on adaptive feature selection with standard illuminants, Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on, Print ISBN: 978-1-4244-1765-0
 - [23] Tao Jiang, Duong Nguyen, Kuhnert, K. - Auto White Balance Using the Coincidence of Chromaticity Histograms, Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS), 2012 Eighth International Conference on, Print ISBN: 978-1-4673-5152-2
 - [24] Jingang Wang, Ying Liu, Feng Liu, Hui Xiong, Chuyang Li - A method of automatic white balance using fuzzy logic, Circuits and Systems, 2000. IEEE APCCAS 2000. The 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on, Print ISBN: 0-7803-6253-5
 - [25] Cheng-Lun Chen, Shao-Hua Lin - Automatic white balance based on estimation of light source using fuzzy neural network, Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on, Print ISBN: 978-1-4244-2799-4
 - [26] ITU-R – ITU-R P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications, duben 2008, vydáno 2009, Ženeva, Švýcarsko
 - [27] ITU-R – ITU-R BT.500-13: Subjective video Methodology for the subjective assessment of the duality of television pictures, vydáno 2012, Ženeva, Švýcarsko
 - [28] Bing Li, Weihua Xiong, Weiming Hu, Ou Wu - Evaluating combinational color constancy methods on real-world images, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on, Print ISBN: 978-1-4577-0394-2



- [29] <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn5/linearni.htm> - Lineární korelační závislosti, [on-line]
- [30] <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn5/nelinear.htm> - Nelineární korelační závislosti, [on-line]
- [31] Stanislav Zdvihal - Metodika subjektivního hodnocení kvality obrazu, Praha, 2014, České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, Katedra radioelektroniky

7.2. Obrázky

- Obr. 1 Vlnové délky
- Obr. 2 Barevný diagram podle CIE 1931
- Obr. 3 Lidské oko
- Obr. 4 Řez sítnicí
- Obr. 5 Metody vyvážení bílé pracující v prostoru RGB
- Obr. 6 Metody vyvážení bílé pracující v prostoru YCrCb
- Obr. 7 Testovací sekvence ACR
- Obr. 8 Testovací sekvence DCR
- Obr. 9 Fotografie se správným nastavením vyvážení bílé
- Obr. 10 Různá nastavení vyvážení bílé
- Obr. 11 Dva zdroje osvětlení
- Obr. 12 Způsob objektivního hodnocení
- Obr. 13 Vzájemná statistická významnost
- Obr. 14 Grafy závislosti objektivního hodnocení na subjektivním
- Obr. 15 Změna vyvážení bílé u videa
- Obr. 16 Legenda
- Obr. 17 Přechod u videa 4 a 6
- Obr. 18 Přechod u videa 9 a 12
- Obr. 19 Přechod u videa 15
- Obr. 20 Přechody u videa 16
- Obr. 21 Ek videa 17
- Obr. 22 Přechod u videa 18
- Obr. 23 Video 9
- Obr. 24 Video 18 – 4
- Obr. 25 Redukce přechodu pomocí metody Kombinace Gray World a RetinexC
- Obr. 26 Vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh – tmavé plochy
- Obr. 27 Celková statistická významnost videí v sekvenci
- Obr. 28 Závislost objektivního na subjektivním hodnocení
- Obr. 29 BT s intervalem spolehlivosti a statistická významnost pro testované fotografie
- Obr. 30 Střední hodnota s intervalem spolehlivosti a statistická významnost pro testovaná videa



7.3. Tabulky

Tab. 1	Pozorovací parametry
Tab. 2	Popis testovaných fotografií
Tab. 3	Výsledky objektivního hodnocení
Tab. 4	Výsledky subjektivního hodnocení fotografií
Tab. 5	Pearsonův korelační koeficient
Tab. 6	Spearmanův korelační koeficient
Tab. 7	Seznam videí
Tab. 8	Eukleidovská vzdálenost přechodu osvětlení
Tab. 9	Výsledky subjektivního hodnocení videa
Tab. 10	Perceptuální Eukleidovská vzdálenost
Tab. 11	Perceptuální Eukleidovská vzdálenost – rozdíl
Tab. 12	Střední kvadratická chyba
Tab. 13	Střední kvadratická chyba – rozdíl
Tab. 14	Průměrná chromatičnost
Tab. 15	Eukleidovská vzdálenost v prostoru Lab
Tab. 16	Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB
Tab. 17	Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB – rozdíl



A. Poučení a souhlas s pořízením fotografií a videozáznamu

Pro pořízení fotografií a videozáznamů jsme potřebovala figuranta, protože pleťová barva je všem lidem dobře známá, takže se na ní dobře testuje kvalita vyvážení bílé. Proto, aby bylo možné pořízené záznamy použít a případně je poskytnout fakultě k dalšímu použití, je potřeba, aby byl figurant s účelem těchto videí obeznámen a svůj souhlas stvrdil podpisem.

Poučení a souhlas

Tyto videonahrávky i fotografie jsou pořizovány pro účely diplomové práce Korekce vyvážení bílé v digitálním videu na katedře Radioelektroniky Fakulty elektrotechnické na Českém vysokém učení technickém. Video i fotografie budou primárně sloužit pro hodnocení kvality jednotlivých metod vyvážení bílé. Kromě využití v této diplomové práci budou videa poskytnuta katedře Radioelektroniky, která je bude moci použít v dalších pracích.

Video nebudou šířena prostřednictvím internetu (Youtube, Facebook a podobné servery) kromě demonstrací výsledků prací, ve kterých byla videa použita.

Svým podpisem stvrzujete, že jste se natáčení i fotografování zúčastnil/a dobrovolně, bez nároku na honorář.

Byl/a jsem informován/a o účelu pořízení těchto videonahrávek a fotografií a souhlasím s nimi.

V Praze dne:

Podpis:



Poučení a souhlas majitele zvířete

Tyto videonahrávky jsou pořizovány pro účely diplomové práce Korekce vyvážení bílé v digitálním videu na katedře Radioelektroniky Fakulty elektrotechnické na Českém vysokém učení technickém. Videá budou primárně sloužit pro hodnocení kvality jednotlivých metod vyvážení bílé. Kromě využití v této diplomové práci budou videá poskytnuta katedře Radioelektroniky, která je bude moci použít v dalších pracích.

Videa nebudou šířena prostřednictvím internetu (Youtube, Facebook a podobné servery) kromě demonstrací výsledků prací, ve kterých byla videá použita.

Svým podpisem stvrzujete, že jste psa na natáčení zapůjčil/a dobrovolně a potvrzujete, že zvíře během natáčení neutrpělo fyzickou ani psychickou újmu.

Byl/a jsem informován/a o účelu pořízení těchto videonahrávek a souhlasím s nimi.

V Praze dne:

Podpis:



B. Objektivní hodnocení vyvážení bílé ve fotografii

Tabulky hodnot ke kapitole 5.2.2. Výpočet v Matlabu jsou na DVD ve složce WB_fotografie, soubor Objektivni_hodnoceni_foto.

B.1. Perceptuální Eukleidovská vzdálenost

Nejmenší PED	Zlepšení Δ	Nejlepší zlepšení Δ	Zhoršení Δ
--------------	-------------------	----------------------------	-------------------

Tab. 10 Perceptuální Eukleidovská vzdálenost (4.2)

Fotografie	Metoda WB	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé	Vyfocené
hal++zar		3,86	3,87	3,97	6,72	4,99	5,02	5,93	4,11
hal+led		4,33	4,43	4,30	4,29	4,70	4,76	4,63	4,41
hal+zar		4,26	4,38	4,22	4,25	4,63	4,62	4,32	4,40
hal_auto		3,83	3,84	3,80	3,83	3,85	3,82	4,19	3,81
hal_den		4,21	4,34	4,23	4,19	4,28	4,24	4,33	4,38
hal_stin		4,27	4,49	4,33	4,26	4,39	4,36	4,28	4,55
hal_wolf		3,95	4,04	4,09	4,28	4,42	4,41	4,63	4,04
hal_zar		4,42	4,64	4,38	4,24	4,34	4,34	4,61	4,58
hal_zat		4,35	4,54	4,39	4,38	4,46	4,42	4,42	4,57
zar+led		3,78	3,83	3,80	3,78	4,14	4,16	4,49	3,79
zar+zar		3,27	3,30	3,28	3,67	3,78	3,74	4,25	3,25
zar_auto		3,68	3,75	3,79	5,94	4,20	4,08	5,30	3,91
zar_auto_bp		3,06	3,07	3,18	6,64	4,26	3,85	4,81	3,37
zar_den		3,22	3,20	3,18	3,54	3,78	3,38	3,93	3,25
zar_den_bp		2,76	2,75	2,73	3,39	3,65	2,97	3,67	2,78
zar_stin		3,01	3,00	2,93	3,10	3,41	3,12	3,46	3,16
zar_stin_bp		3,37	3,44	3,52	3,18	3,70	3,69	4,26	3,54
zar_wolf		2,95	3,05	3,07	3,75	3,72	3,65	4,41	3,38
zar_wolf_bp		2,97	3,05	3,08	4,34	3,93	3,82	4,51	3,51
zar_zar		3,21	3,21	3,50	7,68	4,50	4,20	5,24	3,75
zar_zar_bp		3,10	3,14	3,35	5,77	4,06	3,99	4,88	3,50
zar_zat		3,62	3,64	3,58	4,11	4,37	4,10	4,86	3,63



Tab. 11 Perceptuální Eukleidovská vzdálenost - rozdíl

Δ Percentuální Euklidovské vzdálenosti (vyvážené-vyfocené)						
Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasů	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé
-0.25	-0.24	-0.14	2.61	0.88	0.91	1.81
-0.08	0.02	-0.11	-0.12	0.30	0.36	0.23
-0.14	-0.02	-0.18	-0.15	0.23	0.22	-0.08
0.02	0.03	-0.01	0.03	0.04	0.01	0.38
-0.17	-0.03	-0.15	-0.18	-0.10	-0.13	-0.05
-0.29	-0.06	-0.22	-0.30	-0.16	-0.19	-0.27
-0.09	0.00	0.06	0.24	0.38	0.37	0.59
-0.15	0.07	-0.19	-0.33	-0.24	-0.23	0.03
-0.22	-0.02	-0.17	-0.19	-0.10	-0.14	-0.14
-0.02	0.04	0.00	-0.01	0.35	0.37	0.69
0.02	0.05	0.03	0.42	0.53	0.49	1.00
-0.23	-0.16	-0.12	2.03	0.30	0.18	1.39
-0.31	-0.30	-0.19	3.27	0.89	0.48	1.44
-0.03	-0.05	-0.07	0.29	0.52	0.12	0.68
-0.02	-0.03	-0.05	0.62	0.87	0.20	0.89
-0.15	-0.16	-0.23	-0.05	0.25	-0.04	0.31
-0.17	-0.09	-0.02	-0.36	0.16	0.15	0.72
-0.43	-0.33	-0.30	0.37	0.34	0.27	1.03
-0.55	-0.46	-0.43	0.83	0.41	0.30	0.99
-0.54	-0.54	-0.25	3.93	0.75	0.45	1.50
-0.40	-0.36	-0.15	2.27	0.56	0.49	1.38
-0.01	0.00	-0.05	0.48	0.74	0.47	1.23



B.2. Střední kvadratická chyba

Nejmenší MSE	Zlepšení Δ	Nejlepší zlepšení Δ	Zhoršení Δ
--------------	-------------------	----------------------------	-------------------

Tab. 12 Střední kvadratická chyba (4.4)

Fotografie	Metoda WB	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasů	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé	Vyfočené
hal++zar		998,60	1052,44	1077,71	2326,08	1333,16	1316,53	2328,04	1130,02
hal+led		1199,07	1268,40	1236,03	1218,15	1323,38	1312,56	1290,73	1236,18
hal+zar		1154,35	1232,46	1189,19	1165,92	1288,12	1263,44	1173,37	1207,96
hal_auto		910,71	922,42	899,10	950,10	1021,68	954,02	1074,83	897,24
hal_den		1013,03	1118,90	1049,01	1090,66	1223,51	1195,67	1042,32	1107,31
hal_stin		982,42	1132,66	1039,76	1073,21	1242,10	1222,76	958,40	1141,13
hal_wolf		926,15	1010,88	990,95	1182,81	1313,79	1302,10	1308,98	976,23
hal_zar		1108,05	1225,49	1111,23	1100,97	1241,00	1221,83	1153,83	1167,34
hal_zat		1042,18	1176,26	1090,19	1157,80	1311,92	1280,45	1053,98	1166,86
zar+led		1016,30	1044,99	1044,74	961,02	1113,38	1114,93	1325,54	1038,75
zar+zar		789,34	819,75	824,45	1038,30	980,14	955,24	1258,96	817,03
zar_auto		961,03	1028,65	1038,68	2012,64	1187,52	1139,27	2060,16	1086,49
zar_auto_bp		769,33	800,97	817,84	2298,33	1127,82	977,26	1866,69	893,31
zar_den		819,84	810,54	808,36	1033,92	1110,60	906,55	1071,05	810,41
zar_den_bp		640,73	639,58	637,68	880,65	952,20	740,07	992,70	641,48
zar_stin		700,14	703,94	696,54	814,70	905,09	816,29	838,12	737,80
zar_stin_bp		863,63	865,80	873,49	807,85	995,35	972,68	1200,37	859,41
zar_wolf		605,84	679,99	695,37	1014,64	900,98	870,22	1582,67	812,67
zar_wolf_bp		643,17	712,22	727,05	1217,19	983,22	936,26	1683,16	879,85
zar_zar		843,07	894,92	928,70	2855,58	1330,38	1194,48	2107,21	1071,56
zar_zar_bp		781,32	852,63	883,70	1875,01	1110,10	1072,18	1903,05	973,82
zar_zat		843,99	843,70	839,57	1037,64	1090,06	1007,16	1498,71	827,39



Tab. 13 Střední kvadratická chyba - rozdíl

Δ Mean Squared error (vyvážené-vyfocené)						
Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé
-131.42	-77.58	-52.32	1196.06	203.14	186.51	1198.01
-37.11	32.22	-0.15	-18.03	87.20	76.38	54.55
-53.61	24.50	-18.77	-42.04	80.16	55.48	-34.59
13.47	25.19	1.87	52.87	124.45	56.79	177.60
-94.28	11.60	-58.30	-16.64	116.21	88.37	-64.99
-158.71	-8.47	-101.38	-67.92	100.97	81.63	-182.74
-50.08	34.66	14.72	206.59	337.56	325.87	332.75
-59.29	58.15	-56.10	-66.37	73.66	54.49	-13.51
-124.68	9.40	-76.67	-9.06	145.06	113.59	-112.88
-22.45	6.25	5.99	-77.73	74.63	76.18	286.79
-27.69	2.73	7.43	221.27	163.12	138.22	441.93
-125.46	-57.84	-47.81	926.15	101.04	52.78	973.67
-123.98	-92.34	-75.47	1405.02	234.51	83.95	973.38
9.43	0.13	-2.05	223.51	300.19	96.15	260.64
-0.74	-1.90	-3.80	239.17	310.73	98.59	351.23
-37.66	-33.86	-41.27	76.90	167.29	78.49	100.32
4.22	6.40	14.09	-51.55	135.94	113.28	340.97
-206.83	-132.68	-117.30	201.97	88.31	57.55	770.00
-236.69	-167.64	-152.81	337.33	103.36	56.41	803.30
-228.49	-176.64	-142.85	1784.02	258.83	122.92	1035.65
-192.50	-121.19	-90.12	901.19	136.28	98.36	929.22
16.60	16.31	12.18	210.25	262.67	179.77	671.32



B.3. Průměrná chromatičnost

Tab. 14 Průměrná chromatičnost (4.5)

Fotografie	Metoda WB	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé
hal++zar		60,37	60,35	59,83	63,87	62,32	62,13	65,96
hal+led		60,30	60,34	59,92	61,15	60,71	60,75	61,80
hal+zar		60,30	60,38	59,92	60,71	60,70	60,61	61,32
hal_auto		60,35	60,37	59,96	61,63	61,72	61,48	62,00
hal_den		60,38	60,38	59,51	61,61	62,07	62,03	61,66
hal_stin		60,39	60,48	59,29	61,79	62,26	62,26	61,43
hal_wolf		60,35	60,38	59,43	62,85	63,42	63,45	62,59
hal_zar		60,37	60,37	59,08	62,00	62,80	62,73	61,61
hal_zat		60,37	60,36	59,34	61,68	62,08	62,09	61,51
zar+led		60,32	60,34	60,22	60,74	60,71	60,77	62,92
zar+zar		60,35	60,35	60,14	61,41	61,03	61,03	63,17
zar_auto		60,34	60,36	60,32	62,26	61,53	61,60	65,20
zar_auto_bp		60,34	60,37	60,24	62,68	61,20	61,15	64,65
zar_den		60,33	60,34	60,34	60,77	60,15	60,11	62,32
zar_den_bp		60,33	60,33	60,37	61,29	60,44	60,34	62,63
zar_stin		60,36	60,37	60,28	60,74	60,28	60,38	62,04
zar_stin_bp		60,33	60,36	60,34	60,28	60,00	59,95	62,20
zar_wolf		60,35	60,34	60,54	62,76	61,87	61,86	64,45
zar_wolf_bp		60,35	60,35	60,50	63,03	62,36	62,37	65,11
zar_zar		60,37	60,38	59,96	63,84	63,90	63,71	65,35
zar_zar_bp		60,36	60,37	60,03	63,27	62,60	62,59	64,85
zar_zat		60,35	60,37	60,50	61,58	60,48	60,52	62,95



B.4. Eukleidovská vzdálenost v prostoru Lab

Tab. 15 Eukleidovská vzdálenost v prostoru Lab (4.3)

Fotografie	Metoda WB	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé
hal++zar		1,82	1,89	1,85	4,79	1,48	1,59	5,80
hal+led		1,09	1,07	0,96	1,07	0,55	0,67	2,52
hal+zar		1,51	1,55	1,24	1,10	0,76	0,83	2,28
hal_auto		0,71	0,66	0,69	2,54	2,52	1,80	2,47
hal_den		2,14	1,98	1,85	2,91	2,94	2,87	2,72
hal_stin		2,79	2,50	2,36	3,37	3,30	3,30	2,92
hal_wolf		1,12	0,97	1,39	2,61	2,69	2,73	2,91
hal_zar		2,28	2,05	2,16	3,00	3,02	2,97	2,88
hal_zat		2,46	2,25	2,16	3,42	3,39	3,32	2,84
zar+led		0,40	0,36	0,37	0,88	0,55	0,57	3,47
zar+zar		0,49	0,47	0,52	1,44	0,99	0,89	3,70
zar_auto		1,13	1,15	0,95	4,28	0,72	0,75	5,15
zar_auto_bp		1,52	1,57	1,33	4,87	1,49	1,19	5,03
zar_den		0,95	0,94	0,80	1,99	1,95	1,05	3,02
zar_den_bp		0,78	0,77	0,69	2,35	2,35	1,34	3,34
zar_stin		1,61	1,59	1,35	2,15	2,07	1,66	2,96
zar_stin_bp		1,54	1,57	1,25	1,23	1,03	1,06	3,24
zar_wolf		2,17	2,29	1,76	2,29	2,03	2,07	5,15
zar_wolf_bp		2,63	2,77	2,20	2,84	1,82	1,73	5,38
zar_zar		2,46	2,57	2,32	6,02	1,19	0,89	5,26
zar_zar_bp		2,03	2,10	1,90	3,55	1,10	1,13	5,11
zar_zat		0,76	0,77	0,72	2,20	1,63	1,45	3,95



B.5. Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB

Nejmenší PED	Zlepšení Δ	Nejlepší zlepšení Δ	Zhoršení Δ
--------------	-------------------	----------------------------	-------------------

Tab. 16 Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB (4.3)

Fotografie	Metoda WB	Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasů	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé	Vyfocené
hal++zar		6,89	6,98	7,19	13,65	9,00	9,00	14,57	8,09
hal+led		7,86	8,02	7,82	7,70	8,57	8,62	8,95	8,11
hal+zar		7,84	7,98	7,73	7,79	8,50	8,50	7,92	8,31
hal_auto		6,79	6,80	6,73	7,11	7,18	6,96	8,38	6,80
hal_den		7,29	7,59	7,28	7,36	7,60	7,54	7,90	8,07
hal_stin		7,39	7,85	7,38	7,37	7,76	7,75	7,34	8,54
hal_wolf		6,93	7,17	7,23	8,57	8,94	8,96	9,88	7,13
hal_zar		7,77	8,23	7,66	7,47	7,75	7,74	8,39	8,36
hal_zat		7,51	7,94	7,53	7,75	7,98	7,91	7,85	8,46
zar+led		6,73	6,85	6,80	6,77	7,30	7,31	9,47	6,76
zar+zar		5,82	5,93	5,89	6,85	6,66	6,59	9,43	5,79
zar_auto		6,21	6,53	6,60	11,72	7,67	7,43	12,56	7,29
zar_auto_bp		5,29	5,36	5,65	13,06	7,74	6,93	11,77	6,72
zar_den		5,66	5,57	5,53	6,42	6,44	5,94	8,28	5,88
zar_den_bp		4,86	4,82	4,78	6,54	6,42	5,26	8,25	5,02
zar_stin		5,29	5,19	5,04	5,44	5,80	5,47	7,11	6,08
zar_stin_bp		5,78	5,96	6,00	5,40	6,30	6,33	9,05	6,07
zar_wolf		5,18	5,71	5,68	7,64	6,81	6,71	10,84	6,89
zar_wolf_bp		5,13	5,64	5,61	8,81	7,35	7,17	11,41	7,29
zar_zar		5,62	5,65	6,20	15,72	9,28	8,60	13,11	8,00
zar_zar_bp		5,39	5,60	6,04	11,61	7,81	7,67	11,96	7,27
zar_zat		6,32	6,37	6,30	8,00	7,84	7,38	10,79	6,15

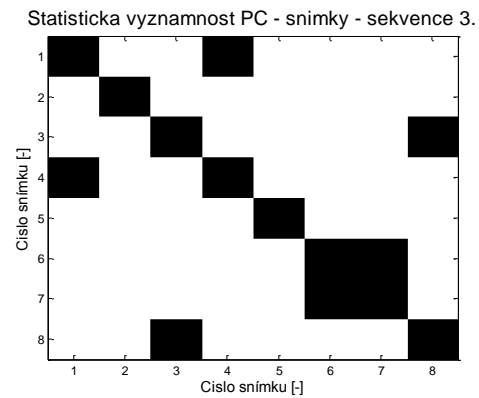
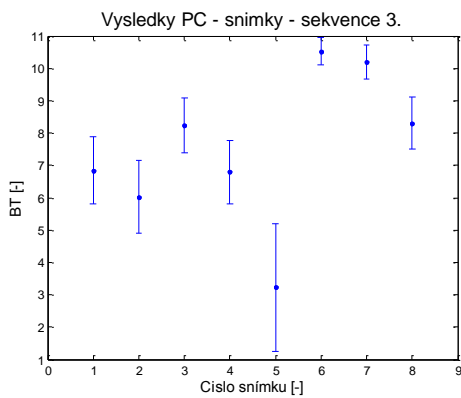
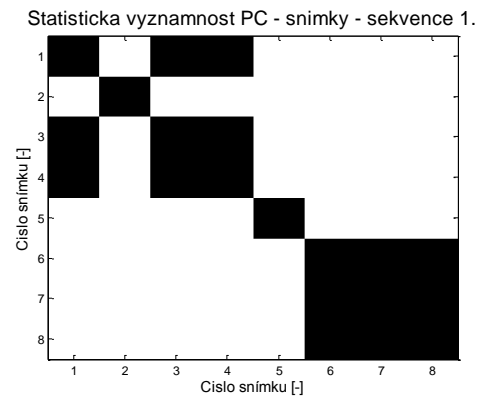
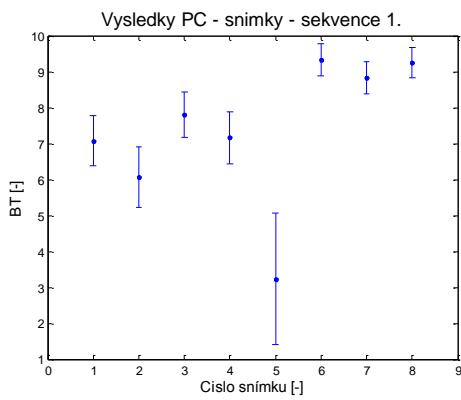
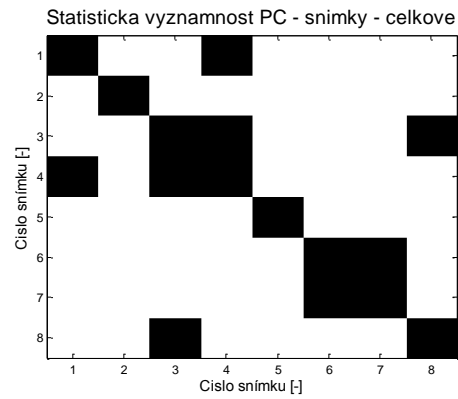
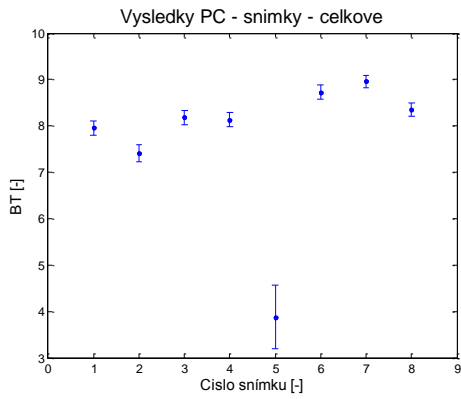


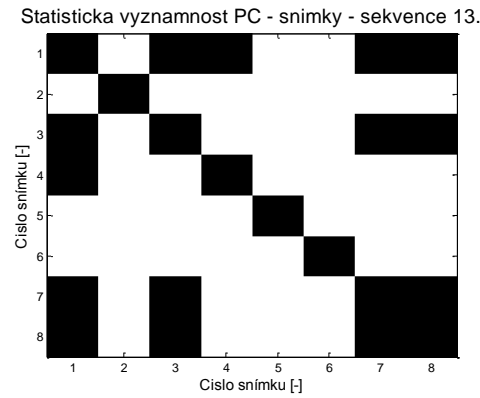
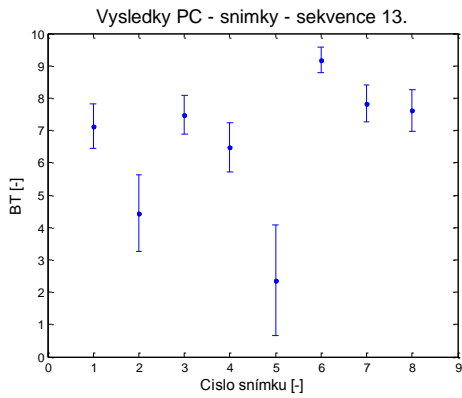
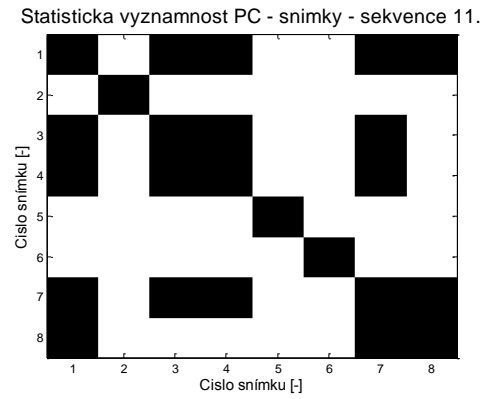
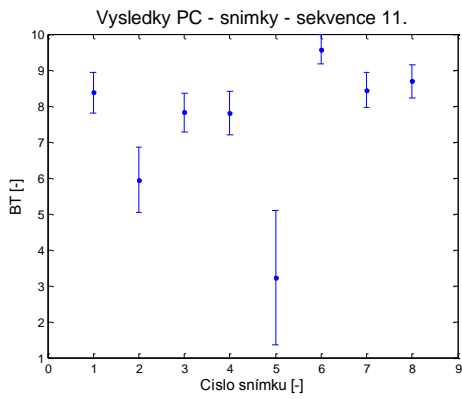
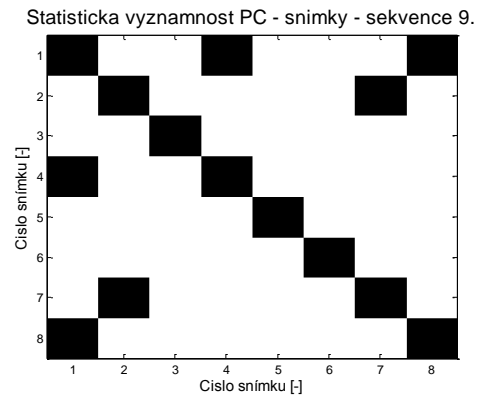
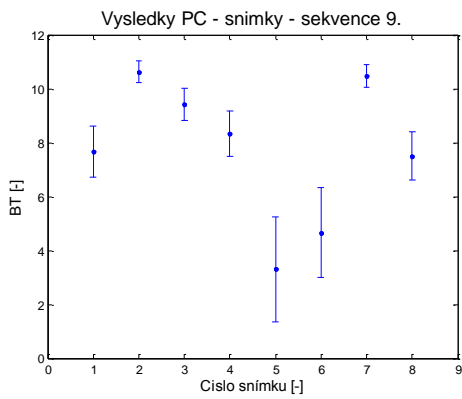
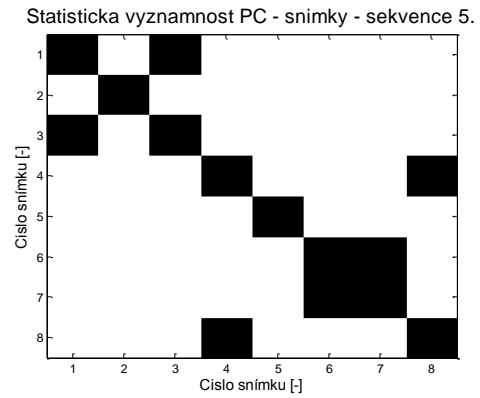
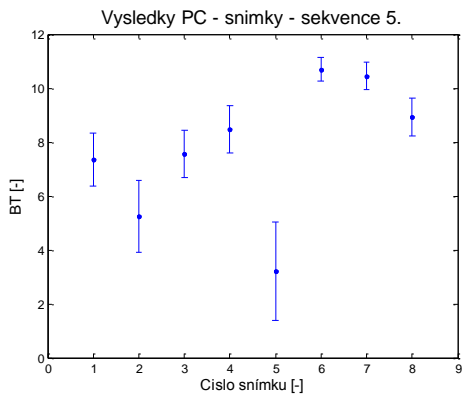
Tab.17 Eukleidovská vzdálenost v prostoru RGB - rozdíl

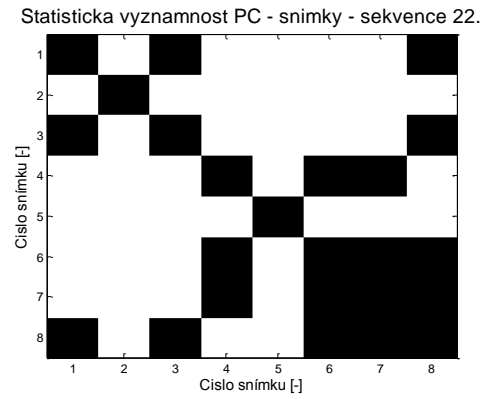
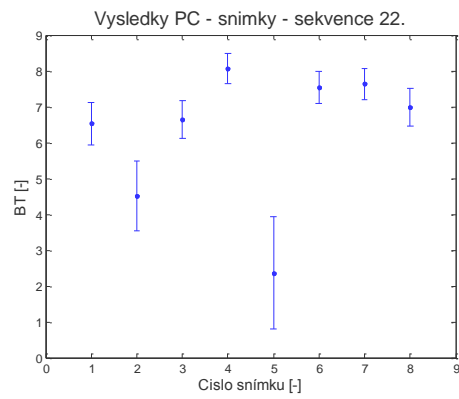
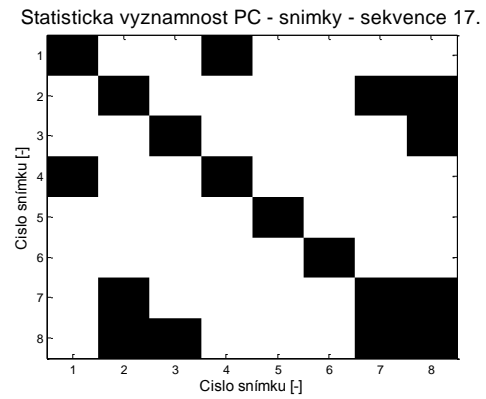
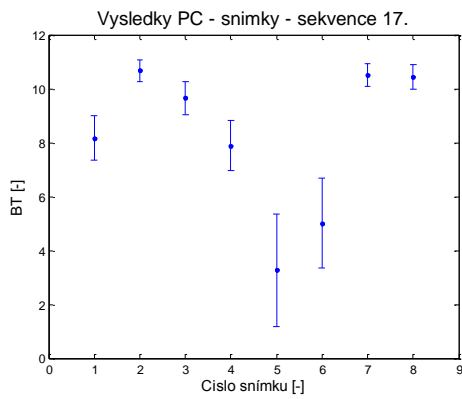
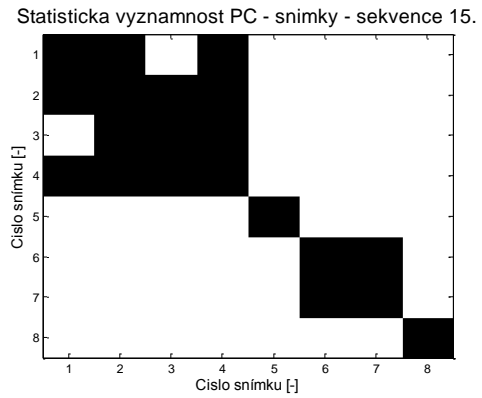
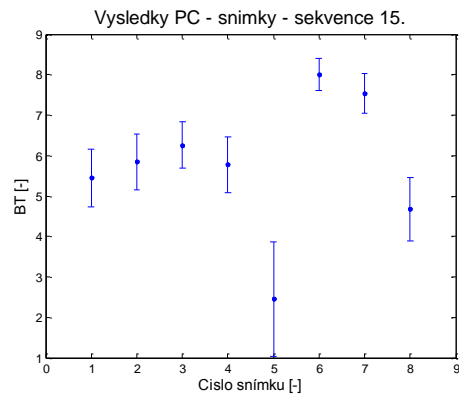
Δ Eukleidovské vzdálenosti (vyvážené-vyfocené)						
Gray World	Kombinace Gray World a Retinex	Metoda založená na kompenzaci jasu	Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty	Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu	Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh	Vylepšená metoda vyvážení bílé
-1.20	-1.11	-0.90	5.56	0.91	0.92	6.48
-0.25	-0.09	-0.29	-0.41	0.46	0.51	0.83
-0.47	-0.33	-0.57	-0.52	0.19	0.19	-0.39
0.00	0.00	-0.07	0.31	0.38	0.16	1.58
-0.78	-0.48	-0.79	-0.71	-0.47	-0.54	-0.18
-1.15	-0.69	-1.16	-1.17	-0.78	-0.79	-1.20
-0.21	0.04	0.10	1.43	1.81	1.82	2.75
-0.60	-0.14	-0.71	-0.89	-0.61	-0.62	0.02
-0.94	-0.52	-0.93	-0.71	-0.47	-0.54	-0.61
-0.03	0.09	0.05	0.01	0.54	0.55	2.71
0.03	0.15	0.11	1.07	0.88	0.80	3.64
-1.09	-0.76	-0.70	4.43	0.38	0.14	5.27
-1.43	-1.36	-1.07	6.34	1.02	0.21	5.05
-0.22	-0.31	-0.35	0.54	0.56	0.06	2.40
-0.17	-0.20	-0.25	1.52	1.39	0.24	3.23
-0.79	-0.89	-1.03	-0.64	-0.28	-0.61	1.03
-0.28	-0.10	-0.07	-0.67	0.24	0.26	2.98
-1.71	-1.18	-1.21	0.75	-0.08	-0.18	3.94
-2.16	-1.66	-1.68	1.52	0.06	-0.13	4.11
-2.39	-2.35	-1.80	7.71	1.28	0.59	5.11
-1.88	-1.67	-1.22	4.34	0.54	0.40	4.70
0.17	0.22	0.14	1.85	1.68	1.23	4.63



C. Subjektivní hodnocení fotografií



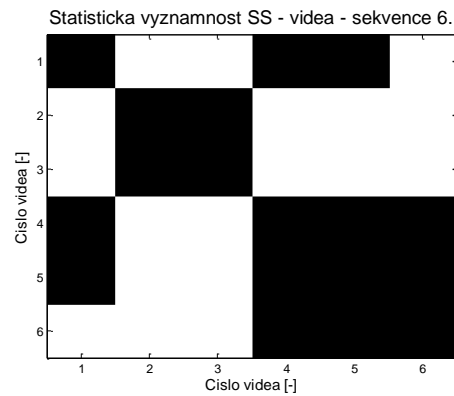
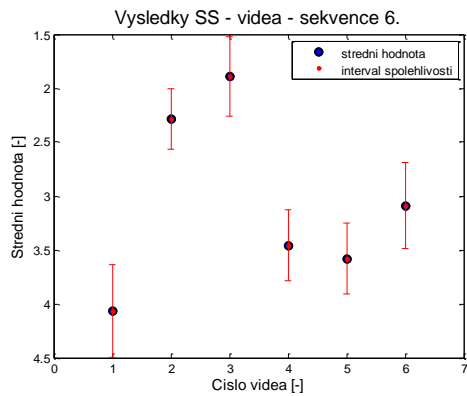
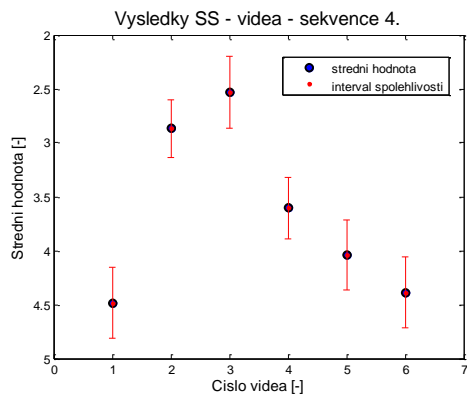
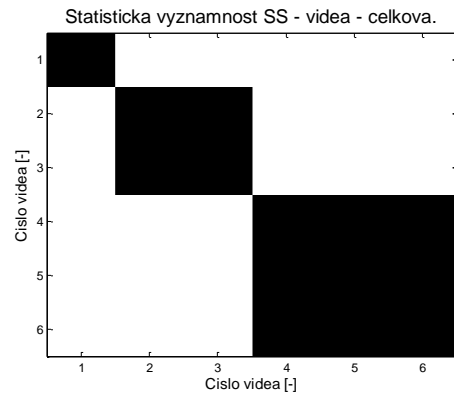
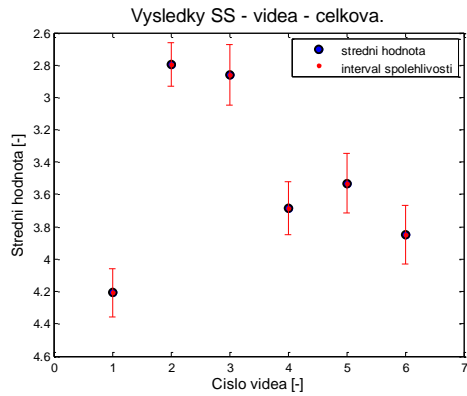


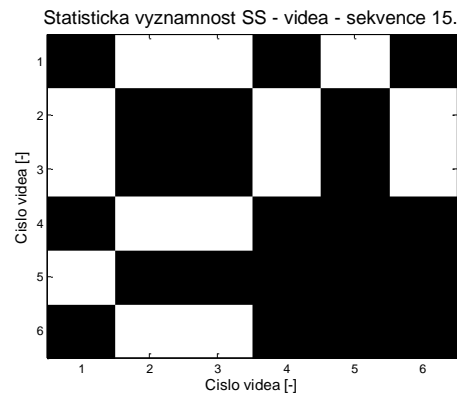
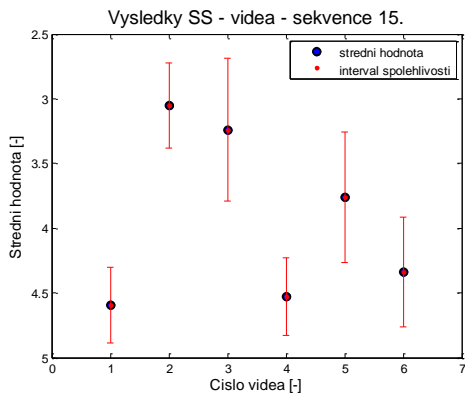
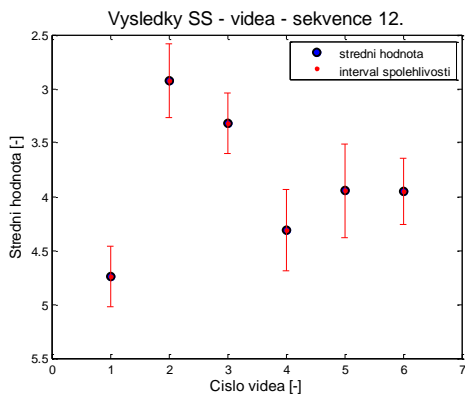
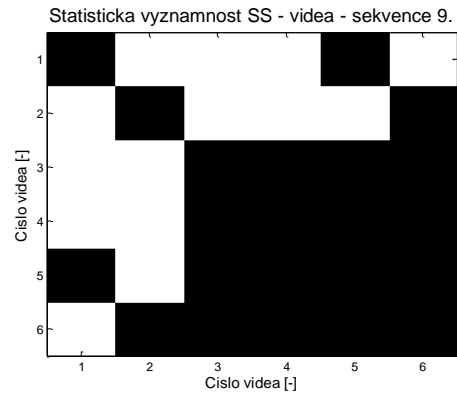
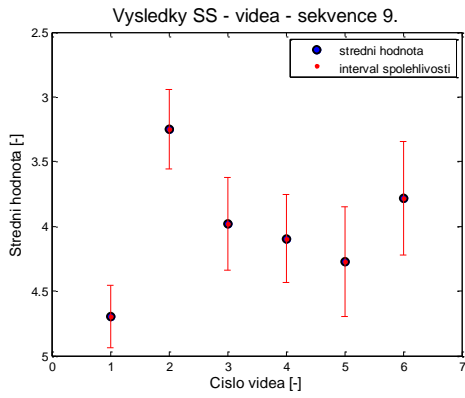


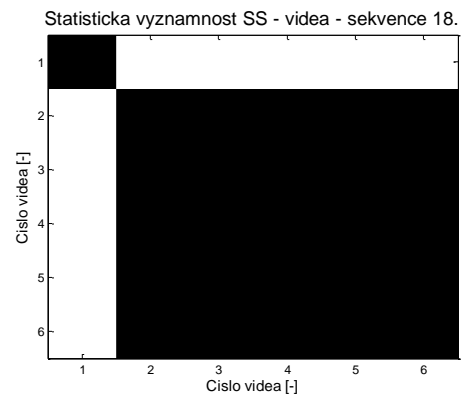
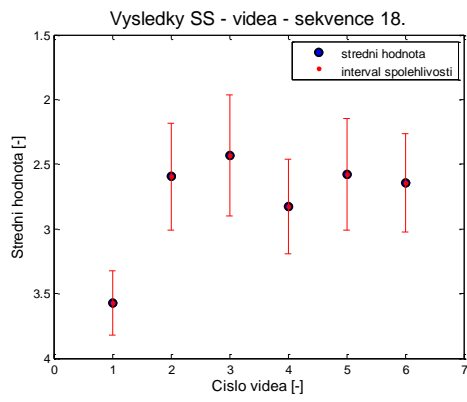
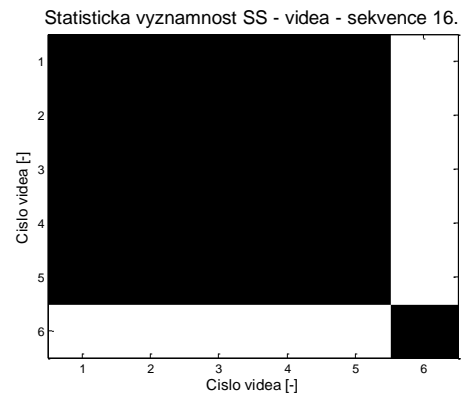
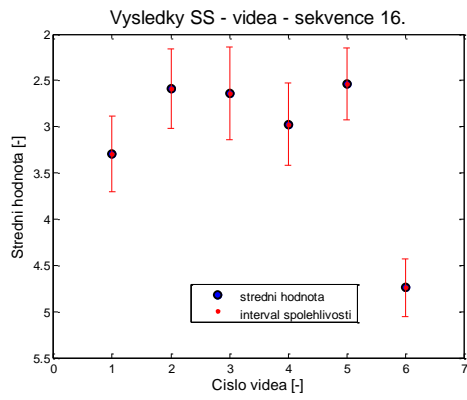
Obr. 29 BT s intervalem spolehlivosti a statistická významnost pro testované fotografie



D. Subjektivní hodnocení videa







Obr. 30 Střední hodnota s intervalem spolehlivosti a statistická významnost pro testovaná videa



E. Obsah přiloženého DVD

- 1) Korekce vyvážení bílé v digitálním videu – MS Word text diplomové práce
- 2) Korekce vyvážení bílé v digitálním videu – pdf text diplomové práce
- 3) WB_fotografie – ZIP složka souborů pro vyvážení bílé na fotografiích
 - a) Vyvazeni_bile – m-file volání jednotlivých metod WB
 - b) GrayWorld – m-file metody Gray World
 - c) Histogram- m-file Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu
 - d) Kombinace_GW_R – m-file Kombinace Gray World a Retinex
 - e) Kompenzace_jasu – m-file Metoda založená na kompenzaci jasu
 - f) Prah_bile – m-file Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
 - g) Vahovani – m-file Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
 - h) WB_Lukac – m-file Vylepšená metoda vyvážení bílé
 - i) Objektivni_hodnoceni_foto – m-file pro výpočet objektivního hodnocení kvality WB
 - j) Korelacni_koeficienty – m-file pro výpočet korelačních koeficientů
 - k) Korelacni_koeficienty – xls dokument pro výpočet korelačních koeficientů
 - l) GrayWorld – složka fotografií vyvážených metodou Gray World
 - m) Kombinace_GW_Retinex – složka fotografií vyvážených metodou Kombinace Gray World a Retinex
 - n) Kompenzace_jasu – složka fotografií vyvážených metodou Metoda založená na kompenzaci jasu
 - o) Originaly – složka originálních fotografií
 - p) Prah_bile – složka fotografií vyvážených metodou Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
 - q) Roztazeni_histogramu – složka fotografií vyvážených metodou Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu
 - r) Vahovani – složka fotografií vyvážených metodou Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
 - s) WB_Lukac – složka fotografií vyvážených metodou Vylepšená metoda vyvážení bílé
- 4) WB_video – RAR složka souborů pro vyvážení bílé ve videu
 - a) Vyvazeni_bile_video – m-file volání jednotlivých metod WB
 - b) GrayWorld – m-file metody Gray World
 - c) Histogram- m-file Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu
 - d) Kombinace_GW_R – m-file Kombinace Gray World a Retinex
 - e) Kompenzace_jasu – m-file Metoda založená na kompenzaci jasu
 - f) Prah_bile – m-file Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
 - g) Vahovani – m-file Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
 - h) WB_Lukac – m-file Vylepšená metoda vyvážení bílé
 - i) Objektivni_hodnoceni – m-file pro výpočet objektivního hodnocení kvality WB
 - j) Graf_objektivni – m-file pro vykreslení grafů objektivního hodnocení



- k) Korelacni_koeficienty_video– m-file pro výpočet korelačních koeficientů
- l) Objektivni_hodnoceni_video– xls dokument pro vykreslení grafů objektivního hodnocení
- m) GrayWorld – složka videí vyvážených metodou Gray World
- n) Kombinace_GW_Retinex – složka videí vyvážených metodou Kombinace Gray World a Retinex
- o) Kompenzace_jasu – složka videí vyvážených metodou Metoda založená na kompenzaci jasu
- p) Originaly – složka originálních videí
- q) Prah_bile – složka videí vyvážených metodou Nová metoda vyvážení bílé pro digitální fotoaparáty
- r) Roztazeni_histogramu – složka videí vyvážených metodou Rychlé automatické vyvážení bílé založené na roztažení histogramu
- s) Vahovani – složka videí vyvážených metodou Automatické vyvážení bílé využívající průměrné váhování a práh
- t) WB_Lukac – složka videí vyvážených metodou Vylepšená metoda vyvážení bílé