

Fyzikální optika

Editory digitálnej fotografie

20. apríla 2015

Autor: Bc. Tomáš Kubovčík,

xkubov02@stud.fit.vutbr.cz

Fakulta Informačních Technologii
Vysoké Učení Technické v Brně

Abstrakt

Mnoho fotografov, či už sa jedná o amatérov alebo profesionálov vie, že fotografia nie je nič iné, ako záznam svetelných lúčov citlivým médiom. Svetlo je teda kľúčovým faktorom fotografie, vytvára obraz a určuje jeho štýl, tieň, odlesky atď. Preto je pochopenie vlastností svetla spolu s perfektným ovládaním fotoaparátu kľúčom ku kvalitnej fotografii. Rovnako je dobré vedieť, ako pri fotografovaní využívať histogramy a ako z nich čítať informácie.

Kľúčové slová

svetlo, vlnová dĺžka, polarizácia, histogram, reprezentácia farieb, farebné modely, ekvalizácia histogramu, normalizácia histogramu, expozícia, dynamický rozsah, odtieň farby, sýtosť farby

Obsah

Svetlo ako vlnenie	1
Spektrum svetla	1
Ľudské videnie	2
Vnímanie a zaznamenávanie jasu a farieb	4
Jas	4
Farba	5
Určenie farby vo fotoaparáte	5
Farebné modely	6
Odtieň farby	6
Sýtosť farby	6
Svetlosť farby	7
Model RGB	7
Model CMYK	7
Model HSV	7
Histogram	9
RGB histogram	9
Expozícia a histogram	10
Normalizácia histogramu	10
Ekvalizácia histogramu	11
Dynamický rozsah	11
Dynamický rozsah a histogramy	12
Praktická časť projektu	13
Záver	14
Literatura	15

Svetlo ako vlnenie

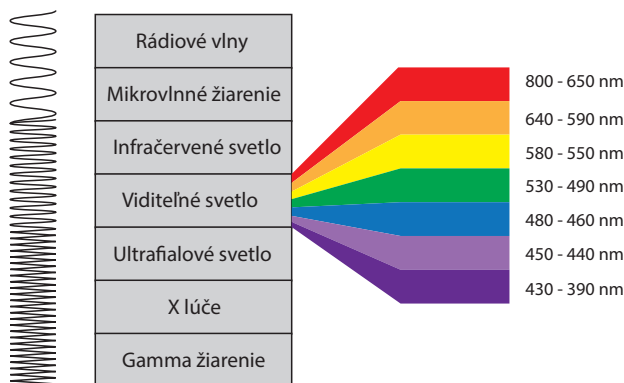
Pre každého fotografa je veľmi dôležité pochopiť vlastnosti svetla[1], vedieť si predstaviť scénu tak, ako bude zachytená na médiu a taktiež to aké ďalšie zmeny bude treba po jej zachytení vykonať v editoroch digitálnej fotografie. Taktiež je veľmi dôležité pochopiť, ako sa zmení obraz scény ak sa zmení svetlo napríklad vplyvom počasia (oblačnosť, hmla, atď), ako ju ovplyvní časť dňa kedy fotografiu zachytávame. Toto všetko dohromady pomôže pochopiť vplyv prostredia na fotografiu, problémy s rôznymi farbami svetiel a taktiež to aký vplyv, kedy a prečo bude mať polarizačný filter.

Základom kvalitnej fotografie samozrejme nie sú nutne detailné znalosti fyzikálnej optiky, ale množstvo aspoň povrchných znalostí môže byť užitočných v praktických situáciách. Znalosť fyzikálnych základov svetla je užitočná najmä v digitálnej fotografii, ktorá sa priamo opiera o fyziku, či už sa jedná o záznam svetla digitálnym senzorom alebo reprezentácie svetla a farieb v počítači.

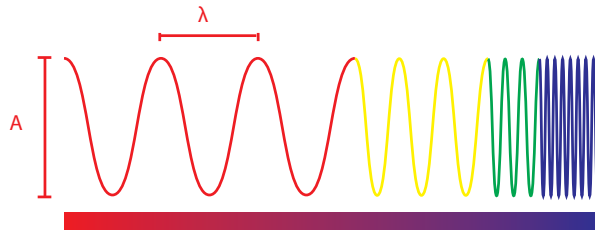
Spektrum svetla

Svetlo ako také, definujeme ako viditeľnú časť elektromagnetického žiarenia. Jedná sa však o veľmi malú časť žiarenia dopadajúceho na Zem, ktorú prepúšťa zemská atmosféra (viď. obr. 1). Toto úzke pásmo tvorí celkový ľudský vizuálny svet a teda samozrejme aj fotografie.

Rýchlosť kmitania (Obr. 2) svetelného vlnenia vnímame ako **farbu**. Kmitanie s väčšou vlnovou dĺžkou (a teda pomalšie kmitanie) vnímame ako červené svetlo, pričom kmitanie s menšou vlnovou dĺžkou (rýchlejšie) vnímame ako modrú až fialovú farbu. Každú konkrétnu vlnovú dĺžku ľudské oko vníma ako jednu konkrétnu farbu. Farby, ktoré tvoríme týmto spôsobom označujeme ako *spektrálne farby*. *Amplitúda* vln nám potom hovorí o **intenzite**(jase) svetla.



Obr. 1: Elektromagnetické žiarenie dopadajúce na Zem



Obr. 2: Farba a rýchlosť kmitania

Ľudské videnie

Ľudské oko (obr. 3) prešlo zložitým vývojom, pričom sa neustále prispôbovalo potrebe orientácie v prostredí, kde sa daný človek pohyboval. Medzi hlavné nástroje ľudského videnia môžeme považovať rozlišovanie intenzity svetla (jasu) a farieb.

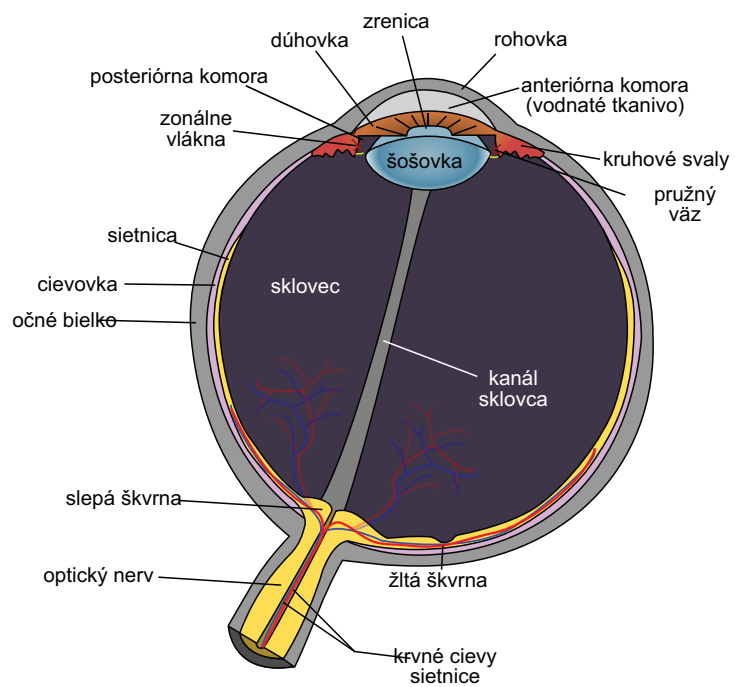
Ľudské oko sa skladá z jednoduchého objektívu tvoreného 2 časťami:

- **rohovka** (*cornea*) - vonkajší člen
- **šošovka** (*lens*) - vnútorný člen

Dúhovka (*iris*), ktorá sa nachádza medzi nimi koriguje množstvo svetla, ktoré do oka vstupuje. Ďalej sa svetlo šíri priehľadným sklovcom a na svetlocitlivej sietnici vytvára obraz. Sietnica odpovedá CCD/CMOS senzoru v digitálnych fotoaparátach prípadne filmu v klasických fotoaparátach. Sietnicu tvoria svetlocitlivé bunky dvoch typov:

- **tyčinky** (*rods*), ktorých je cca 130 miliónov a sú veľmi citlivé na svetlo, no dokážu vnímať len "čiernobielo" preto v šere vidíme, nedokážeme dobre rozpoznať farby
- **čípky** (*cones*) - cca 7 miliónov, oproti tyčinkám sú menej citlivé na svetlo, ale dokážu rozpoznať farbu

Z týchto skutočností môžeme odvodiť fakt, že oko je v podstate 137 megapixelový fotoaparát. **Žltá škvrna** (*fovea*) je miesto na sietnici s priemerom cca $0,2\text{ mm} - 0,5\text{ mm}$. Nachádza sa na ose oka a je to miesto najostrejšieho videnia, teda miesto ktorým naše oko ostrí obraz. Na ploche 1 mm^2 tam pripadá asi 150 000 čípkov (cca $100\,000\text{ dpi}$) pričom tam nie sú takmer žiadne tyčinky. Ďalej od žltej škvrny čípky ubúdajú a pribúdajú tyčinky, najviac je ich vo vzdialenosti cca 5-6 mm. Táto oblasť sietnice je zodpovedná najmä za zachytávanie pohybu, zmeny intenzity svetla a slúži na periférne a nočné videnie. Zloženie oka je znázornené na obrázku 3.



Obr. 3: Zloženie ľudského oka

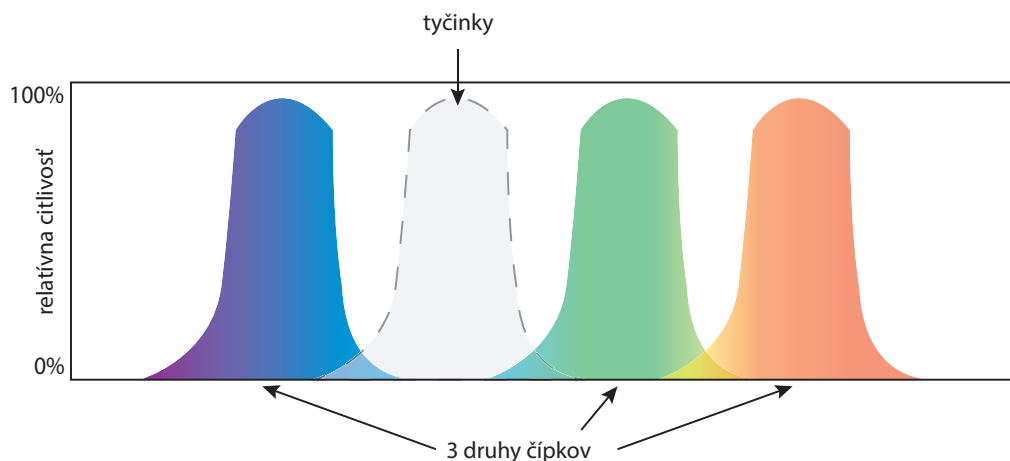
Vnímanie a zaznamenávanie jasů a farieb

Ako bolo spomenuté v sekcii vyššie za rozlišovanie farieb sú v ľudskom oku zodpovedné čípky na sietnici. Tie však môžu byť trojakého typu, pričom každý druh má iný svetlocitlivý pigment, ktorý reaguje na inú farbu. V konečnom dôsledku oko podobne ako CCD/CMOS senzor prehľadáva spektrum pomocou týchto 3 druhov čípkov v troch miestach spektra. Tyčinky reagujú na svetlo medzi vlnovou dĺžkou odpovedajúcou vlnovým dĺžkam modrej a zelenej farby (viď obrázok 4).

Jas

Odborné označenie intenzity svetla ktorú pozorovnáý objekt odráža sa odborne v oblasti digitálnych fotografií označuje ako jas. Je zrejmé, že čím väčšie množstvo svetla dopadá na povrch pozorovaného/snímaného objektu tým väčší je aj výsledný jas. Okrem toho ho samozrejme ovplyvňuje aj povrch objektu. V skutočnosti však vnímanie intenzity svetla do značnej miery ovplyvnené tzv. **subjektívnym jasom** (*Brightness*), ktorý oko vyhodnocuje na základe jasů okolia. Jedná sa o prípad, kedy je nejaký objekt obklopený tmavými tónmi a teda sa nám javí jasnejší ako v prípade, že je obklopený svetlými tónmi. Vo svete fotografií to znamená napríklad to, že dobre exponová fotografia sa na tmavom pozadí bude javiť ako preexponovaná. Okrem toho je jas zradný v tom, že ľudské oko je na niektoré farby citlivejšie aj keď reálne všetky farby vyžarujú rovnaké množstvo energie.

Jas teda predstavuje veľmi užitočný nástroj pri práci s digitálnymi fotografiami, kde



Obr. 4: Vnímanie jasů a farieb okom

vlastne označuje *celkovú svetlosť fotografie*. Nastavenie jasu pri fotografovaní reálne znamená nastavenie expozície fotografie, ktorá sa štandardne vo fotoaparátoch nastavuje tak, že jej stred odpovedá dennému svetlu.

Pokles intenzity svetla závisí na nasledujúcich podmienkach:

- intenzita zdroja svetla
- modifikácia svetla na jeho trase
- vzdialenosť svetla od predmetu

Pre oddiaľovanie svetelného zdroja od osvetľovaného objektu platí, že jeho intenzita klesá s druhou mocninou zmeny vzdialenosti (tzv. **Inverse Square Law**). To znamená, že ak vzdialime zdroj svetla od objektu o 2 metre, klesne jeho intenzita na povrchu objektu $4\times$. V praxi však treba brať do úvahy odraz svetla a preto reálne klesá intenzita o čosi pomalšie.

Farba

Ako už bolo spomenuté farba nie je nič iné ako označenie pre spektrum svetla. Pretože ľudské oko dokáže rozpoznávať len v troch oblastiach spektra preto sa nám rada rôznych spektier môže javiť ako rovnaká farba a teda sú pre nás tieto spektrá od seba nerozlíšiteľné. Jedným z významných objavov pri skúmaní farieb a spektier predstavuje objav Maxa Plancka, ktorý zistil, že spektrum svetla, ktoré teleso vyžaruje je ovplyvnené jeho teplotou. Vo fotografickej praxi sa tento fakt veľmi často využíva a teda sa farba svetla zvykne udávať jeho teplotou. Teplota telesa udáva ako veľmi je treba zahriať úplne čierne teleso (také, ktoré neodráža žiadne žiarenie) aby vyžarovalo práve hľadanú farbu. Teplota svetla sa meria v Kelvinoch.

Určenie farby vo fotoaparáte

Určovanie farby vo fotoaparáte je zložitejší proces. Snímače v digitálnych fotoaparátoch totiž nie sú schopné určiť farbu, respektíve vlnovú dĺžku dopadajúceho svetla. Preto sa tento problém rieši vrstvou farebného filtra na vrchu snímača. Cez každý obrazový bod je farebná vrstva, ktorá filtruje iba svetlo danej farby (o konkrétnej vlnovej dĺžke). Výsledná farba, ktorá je reprezentovaná trojicou RGB, je následne vypočítaná demozaikovým algoritmom, teda interpoláciou nameraných hodnôt v okolí každého obrazového bodu. Tento proces sa vykonáva buď vo vnútri fotoaparátu, kde výstupom je JPEG alebo TIFF alebo pomocou špecializovaného softvéru z RAW súborov. Samotné filtry sa vyrábajú v rôznych prevedeniach, najčastejšie je RGGB prevedenie tiež nazývané **Bayerov filter** alebo Bayerova maska po jeho vynálezcovi Bryceovi Bayerovi z Kodaku. Ide o štvorice - červená, zelená, zelená modrá.

Farebné modely

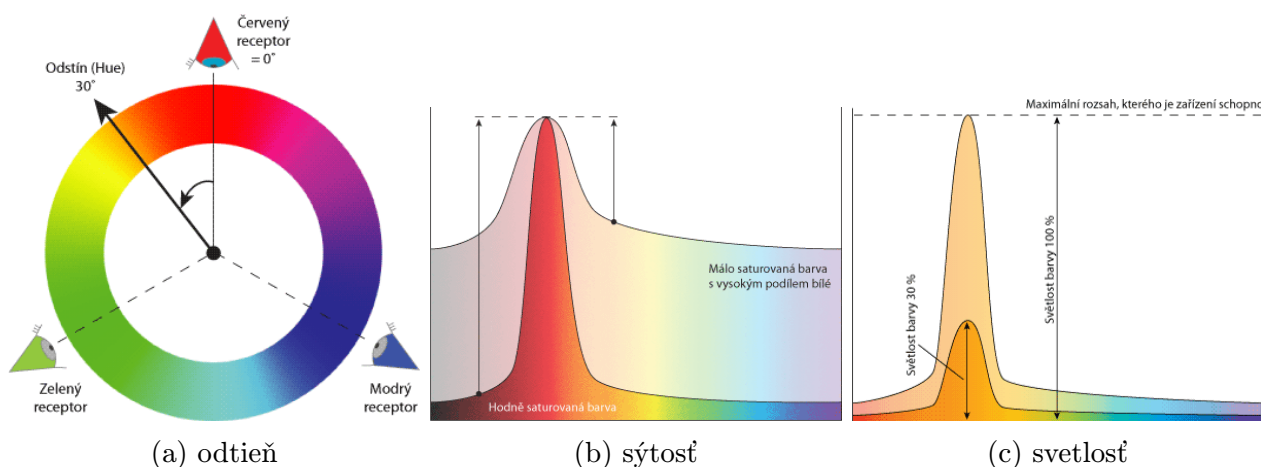
Už dávno maliari si všimli skutočnosť, že s niekoľkých základných farieb sú schopný namiešať celú paletu farieb. Vznikol tak koncept základných farieb a ich miešania. Neskôr celý koncept vylepšil Isaac Newton, ktorý vytvoril paletu farieb tak, že usporiadal svetelné spektrum do kruhu tak, že medzi krajné hodnoty (červenú a fialovú) vmiešal purpurovú a ružovú, ktoré vzniknú zmiešaním práve týchto krajných farieb. Práve z tohto farebného kola vychádza moderná digitálna reprezentácia farieb s tým, že sa líši v základných farbách.

Odtieň farby

Práve vďaka reprezentácii farieb podľa kola je možné odtieň farby (*Hue*) vyjadriť ako uhol v stupňoch ($0^\circ - 360^\circ$). Odtieň farby teda reprezentuje farbu v čistej podobe, teda bez ohľadu na to či je tmavá alebo svetlá prípadne množstvo bielej s ktorou je zmiešaná. V bežnom živote odtieň teda reprezentuje práve farby, ktoré majú svoje mená.

Sýtosť farby

Sýtosť farby (*saturation*) určuje to, ako veľmi sa líši od šedej. Stále však nezávisí na tom ako moc je svetlá či tmavá. Zvyšovaním svetlosti farby získame jasné a čisté farby, pričom znižovaním sa približujeme k bielej, šedej či čiernej. Jednoducho povedané sýtosť farby znamená relatívnu odlišnosť farby o všetkých ostatných farieb tvoriacich šedú. Udáva sa v percentách pričom 100% značí čistú farbu s farebného kola a 0% značí odtieň šedej.



Obr. 5: HSL model farieb

Svetlosť farby

Svetlosť farby (*lightness*) určuje ako veľmi svetlá sa farba javí a v bežnej reči sa označuje prívlastkami *svetlá* či *tmavá*. Udáva sa znova v percentách, pričom 100% označuje maximálny jas, teda bielu farbu a 0% značí minimálny jas, čiernu farbu.

Model RGB

Tento model je dnes zrejme najpoužívanější v zobrazovacích zariadeniach, teda monitoroch či iných displayoch. Jedná sa o model, ktorý takpovediac najprirodzenejšie vyjadruje to čo ľudské oko vníma. Vyjadruje ako veľmi sú dráždené jednotlivé receptory oka (R - receptor, G - Receptor, B - Receptor). V konečnom dôsledku je farba a zároveň intenzita reprezentovaná trojicou čísel.



Obr. 6: Fotografia rozložená do zložiek RGB modelu

Keďže farba podľa RGB modelu je pomerne jednoducho spätne skonštruovateľná miešaním farieb, označuje sa tento model ako aditívny. To je výhodné najmä v zariadeniach kde k tmavému podkladu pridávame zložky základných farieb a miešame ich (monitory, televízory), pričom zmiečaním maximálnych intenzít všetkých troch zložiek vzniká biele svetlo.

Tento model však nemá žiadnu presnú špecifikáciu svojich základných farieb, čo viedlo k vzniku niekoľkých modelov odvodených práve z RGB modelu, ktoré dopĺňajú práve jeho nedostatky. Konkrétne sa jedná o modely sRGB a Adobe RGB.

Model CMYK

Pravým opakom predchádzajúceho modelu je práve model CMYK, ktorý sa využíva najmä v tlačiarňach a podobných zariadeniach. Je tomu tak preto, že v tomto prípade už nemôžeme vychádzať zo skutočnosti, že farby vznikajú aditívnym miešaním na tmavom podklade, nakoľko tlačíme na biely papier, ktorý teoreticky odráža všetko svetlo. Preto bol zavedený práve model CMYK, ktorý využíva subtraktívnu metódu, pri ktorej sa jednotlivé zložky základných farieb odčítajú. Odčítaním maximálnych intenzít týchto farieb narozdiel od RGB modelu nezískame bielu farbu ale čiernu. Ako už zo skratky modelu vyplýva, základnými farbami v tomto modeli sú úplne iné farby ako v RGB, konkrétne: *C* - cyan, *M* - magenta, *Y* - Yellow, *K* - black.

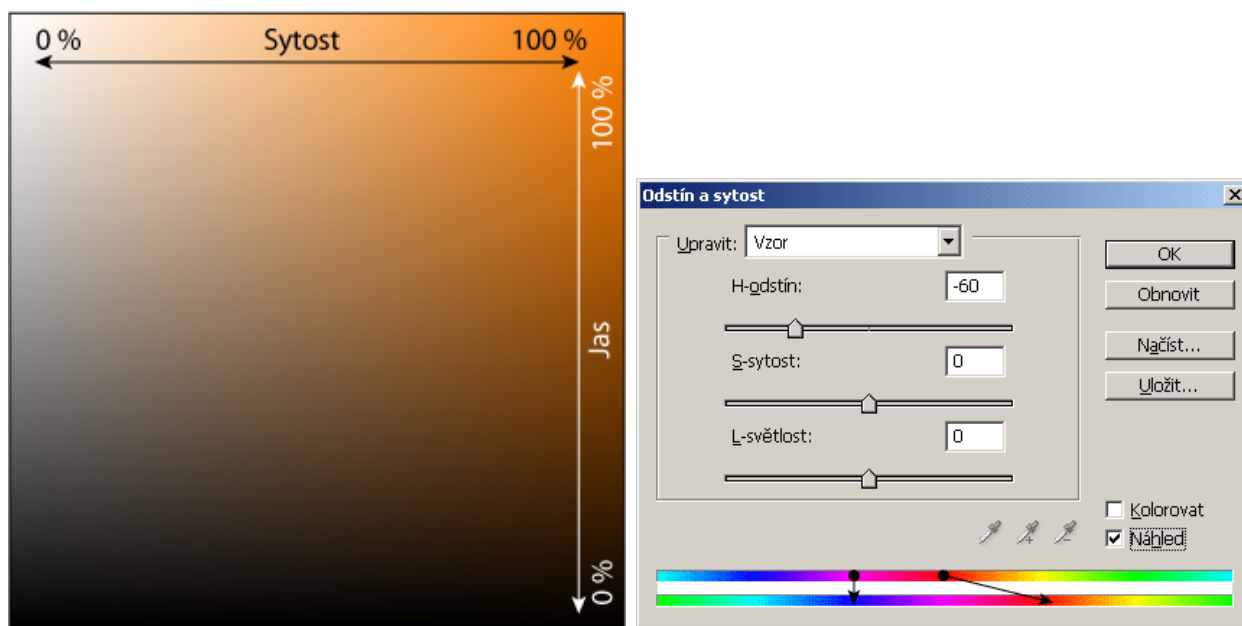
Model HSV

Niekedy je však výhodné použiť koncept, ktorý bol uvedený v úvode tejto kapitoly a teda využitie odtieňov a sýtosti farieb. Práve na nich stavia farebný model HSV, ktorý sa používa



Obr. 7: Fotografia rozložená do zložiek CMYK modelu

najmä v editoroch digitálnych fotografií. Samotný model je postavený na ľudskom vnímaní farieb narozdiel od predchádzajúcich modelov, ktoré stavajú na miešaní farieb. HSV model teda rieši otázky typu: Aká je to farba? Je svetlá alebo tmavá? Je sýta?



(a) sýtosť a jas farieb

(b) hsv v photoshope

Obr. 8: HSV model v editore fotografií

Histogram

Neoceniteľným pomocníkom v sfére digitálnych fotografií je histogram. Jedná sa o akúsi štatistiku expozície jednotlivých buniek senzoru, pričom počtom buniek rozumieme počet pixelov. Z histogramu **šedotónového** obrazu vieme teda veľmi jednoducho odčítať aká veľká plocha fotografie je biela, čierna prípadne šedá. Umožňuje nám veľmi presne a objektívne (nezávisle na kvalite LCD displeja) zhodnotiť expozíciu snímku. Histogram nie je prakticky nič iné ako 2D graf, ktorý na ose x obsahuje roloženie odtieňov daného farebného kanálu, typicky v rozsahu $[0, 255]$ prípadne $[0, 4095]$, kde najtmavšie odtiene sú v 0, a naopak najsvetlejšie v 256 alebo 4096. Na ose y je zobrazená početnosť pixelov v obraze s daným odtieňom.

Predpokladajme, že pracujeme s fotografiou, ktorá má iba jeden farebný kanál, jedná sa o už spomínaný šedotónový obraz, potom môžeme histogram definovať nasledovne:

$$h(r_k) = n_k \quad (1)$$

kde:

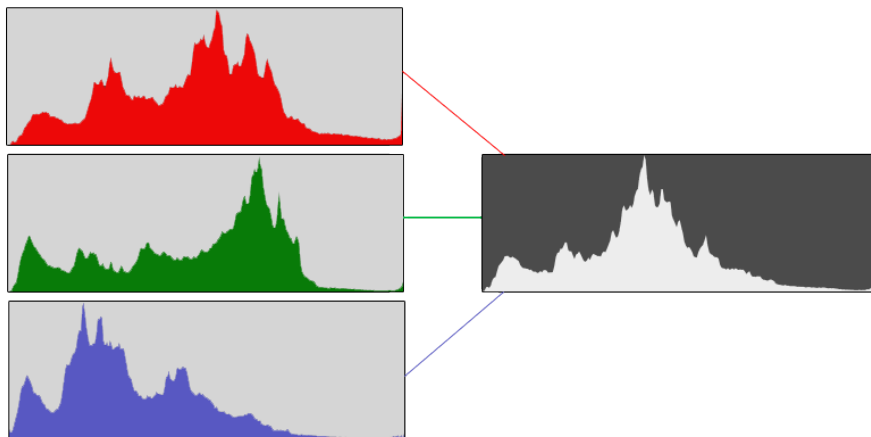
- r_k je k – ty odtieň šedej
- n_k je počet pixelov v obrázku, ktorých intenzita je r_k

RGB histogram

Analogicky môžeme definovať histogram pre farebné fotografie, ale v tomto prípade dostaneme 3 histogramy, pre rozloženie odtieňov jednotlivých zložiek. Zoskupenie týchto 3 histogramov sa zvykne označovať ako **3D histogram**. Nakoľko 99% dnešných digitálnych fotografií je farebných, je zrejmé, že moderné fotoaparáty musia vedieť pracovať s týmito histogramami. Aj keď to mnohé z nich dokážu, často sa môžeme stretnúť s fotoaparátmi, ktoré využívajú tzv. **jasový histogram** (Luminance histogram). Ten vznikne tak, že sa sčítajú histogramy jednotlivých farebných zložiek a zobrazí ich v jednom grafe. Nejedná sa však o jednoduché sčítanie ale o pomerové, nakoľko ako už naznačovali predchádzajúce kapitoly, ľudské oko je **najcitlivejšie na zelenú farbu**, menej na červenú a najmenej citlivé je na modrú. Moderné fotoaparáty prípadne editory fotografií to samozrejme zohľadňujú a preto sa pri výpočte jasového histogramu využíva nasledujúca formula:

$$L_{px} = 0,299 \times R + 0,587 \times G + 0,114 \times B \quad (2)$$

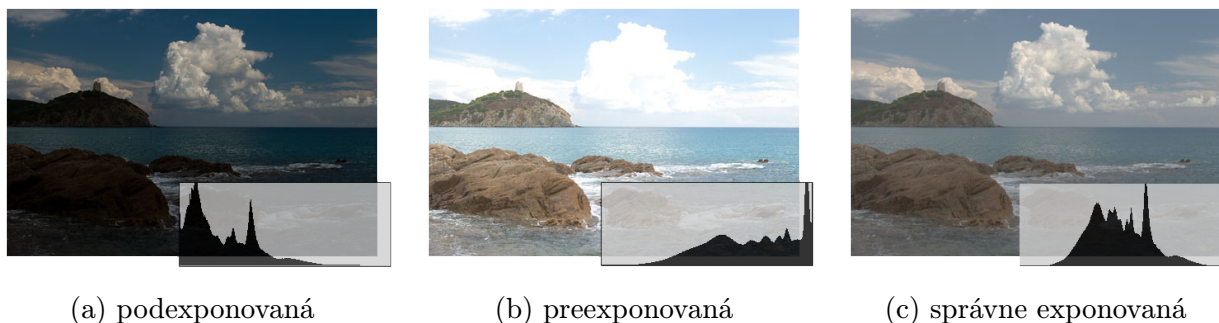
kde L_{px} je výsledný jas pôvodného pixelu v šedotónovom obraze, a R, G, B sú intenzity jednotlivých farebných zložiek. Na obrázku 9 je uvedený príklad takéhoto prevodu.



Obr. 9: Prevod RGB histogramu na jasový histogram

Expozícia a histogram

Vďaka histogramu vieme pomerne jednoducho zistiť, či je fotografia preexponovaná alebo naopak podexponovaná. V prípade, že je množstvo pixelov s nulovou intenzitou, vid' obrázok 10a fotografii chýbajú svetlé a biele tóny a celkovo sa javí príliš tmavá. Hovoríme, že je **podexponovaná**. V opačnom prípade, obrázok 10b, kedy je množstvo pixelov bielych, teda prepálených hovoríme o **preexponovaní** fotografie. Chýbajú v nej tmavé tóny.



Obr. 10: Ukážky expozície fotografií a ich histogramov

Správne exponovaná fotografia[2] sa teda môže javiť tak, že jej jasový histogram má rozloženie intenzít na celom intervale, pričom najviac z nich je sústredených práve v strede intervalu. Z teoretického hľadiska je to správna úvaha, no skutočnosť je veľmi subjektívna a závisí na konkrétnych podmienkach. Napríklad na obrázku 10c je zobrazená fotografia, ktorá je síce správne exponovaná (na stred), ale zanikajú v nej svetlé a tmavé tóny a obraz je tvorený odtieňmi šedej a pôsobí fádne. Riešením tohto problému môže byť napríklad **ekvalizácia histogramu**, ktorú si priblížime v nasledujúcich sekciách .

Normalizácia histogramu

Často si želáme pracovať s histogramom v normalizovanej forme k čomu je potrebné histogram upraviť podľa nasledujúceho vzorca:

$$\hat{h}_i(I) = \frac{h_i(I)}{\sum_{i=0}^{255} h_i(I)} \quad (3)$$

čím dosiahneme to, že jednotlivé odtiene budú reprezentovať časť celkových hodnôt, ktoré histogram môže nadobúdať. Hodnoty normalizovaného histogramu je potrebné reprezentovať dátovými typmi `float` alebo `double`, aby sme predošli strate informácie delením. na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť niekoľko fotografií a ich histogramy.

Ekvalizácia histogramu

Pri úpravách fotografií či samotnom fotení sa nám môže stať, že fotografia pokrýva iba malú časť spektra, pričom zväčša časť je úplne nevyužitá. V takomto prípade je veľmi výhodné použiť metódu, ktorá upravuje kontrast fotografie s cieľom natiahnuť rozsah intenzít obsiahnutých vo fotografii. Touto metódou je ekvalizácia histogramu [3]. Je užitočná najmä pri fotografiách, ktoré sú príliš svetlé alebo naopak príliš tmavé (preexponované/podexponované). Inými slovami sa jedná o algoritmus, ktorý mení rozloženie intenzít v obraze tak, aby sa v ňom vyskytovali pokiaľ možno intenzity v širokom rozmedzí a to približne s rovnakou početnosťou. Algoritmy ekvalizácie histogramu sú založené na štatistických metódach.

Postup pri ekvalizácii histogramu je pomerne jednoduchý. Za predpokladu, že histogram má 255 úrovní a rozmery obrazu sú $M \times N$, využijeme tzv. *kumulovaný histogram*:

$$K(i) = \sum_{j=0}^i H(j) \quad (4)$$

Potom výsledná intenzita je:

$$I(i)_{new} = \frac{K(i)}{M \times N} * 255 \quad (5)$$

Ekvalizácia histogramu zahŕňa mapovanie jednej distribúcie intenzít (pôvodný histogram) na inú distribúciu (širšiu a ideálne rovnomerne rozloženú).

Dynamický rozsah

Každá snímaná scéna má určitý dynamický rozsah, čím sa vo fotografickom obore rozumie podiel medzi najsvetlejšou a najtmavšou oblasťou v zábere. Ak by sme fotili napríklad čierny objekt na bielom pozadí, bude dynamický rozsah veľmi veľký, ak však budeme fotiť napríklad v hmle, je veľká pravdepodobnosť, že farby budú vo veľkej miere šedé a teda bude dynamický rozsah veľmi malý.

Dynamický rozsah ľudského oka na jedno "žmurknutie" bez adaptácie na svetlo alebo tmu je 11 – 15 EV.¹ Digitálna zrkadlovka je však schopná zaznamenať iba 10 EV. V prípade, že budeme snímať nejakú veľmi kontrastnú scénu je veľmi veľká pravdepodobnosť, že snímač fotoaparátu nebude schopný zaznamenať všetky odtiene a jasy scény.

¹Exposure Value

Dynamický rozsah a histogramy

Z histogramu vieme tak isto veľmi jednoducho odčítať to či dynamický rozsah scény je väčší, odpovedajúci, prípadne nižší dynamickému rozsahu fotoaparátu. V prípade, že sú dynamické rozsahy približne rovnaké, distribúcia odtieňov v histograme je rozprestretá cez celý interval. V prípade, že je dynamický rozsah scény väčší ako rozsah fotoaparátu histogram sa bude dotýkať spodnej aj hornej hranice intervalu (na ose x), akoby chcel pokračovať ďalej, ale rozsah snímača mu to neumožňuje.

Praktická časť projektu

Ako praktickú ukážku zvolenej problematiky som vytvoril aplikáciu, ktorá predstavuje jednoduchý editor digitálnych fotografií. Aplikácia je vytvorená v jazyku C# (WPF), s využitím knižnice pre spracovávanie obrazových dát AForge.NET. Výsledný projekt bol vyvíjaný na platforme Windows 8.1 pre ktorú je určený, okrem toho však bol testovaný aj pod operačným systémom Windows 7, kde sa podľa rýchleho testovania aplikácia javila rovnako funkčná, no je možné, že môže dôjsť k neočakávanej chybe.

V editore je možné vykonávať typické operácie nad digitálnymi fotografiami ako **úprava jas, kontrastu** či úpravy farieb: **odtieň, sýtosť**, ktoré sú vykonávané nad fotografiou prevedenou do HSL modelu farieb(8). Pri týchto úpravách je možné v pravom paneli pozorovať histogramy fotografie - histogram farieb spolu s jasovým histogramom, či histogramy jednotlivých farieb. Rovnako je možné filtrovať jednotlivé kanály farieb, či sledovať ich náhľady v spodnom paneli.

Ďalšou kategóriou operácií sú operácie priamo pracujúce s histogramom fotografií - v tomto prípade je to **ekvalizácia histogramu** a **natiehnutie histogramu**.

Záver

V tejto práci sme si predstavili základy svetla z fyzikálneho hľadiska a nadviazali jeho vnímaním prostredníctvom ľudského oka a prirovnali ho k "vnímaniu" senzorom fotoaparátu a na analogické vlastnosti oboch z nich. Ukázali sme možnosti reprezentácie intenzity svetla (farieb) v digitálnych zariadeniach a priblížili si jednotlivé farebné modely, ich podstatu a využitie. Nadviazali sme na histogramy farieb tvorené z digitálnych fotografií a pričom bolo poukázané na to čím su histogramy pri fotografovaní užitočné a najmä to aké informácie z nich vyčítať, prípadne ako sa nimi riadiť aby vznikali o niečo kvalitnejšie fotografie.

Literatúra

- [1] Ing. Roman Pihan. Vše o světle [online]. <http://fotoroman.cz/techniques3/svetlo01zaklad.htm>.
- [2] Roman Pihan. *Mistrovství práce s DSLR*. Institut digitální fotografie, Praha, vyd. 1. edition, 2006.
- [3] OpenCV Development team. Histogram equalization [online]. http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram_equalization/histogram_equalization.html.