

Správa barev pro digitální fotografii

Seminární cvičení

Lukáš Cerman

9. března 2009

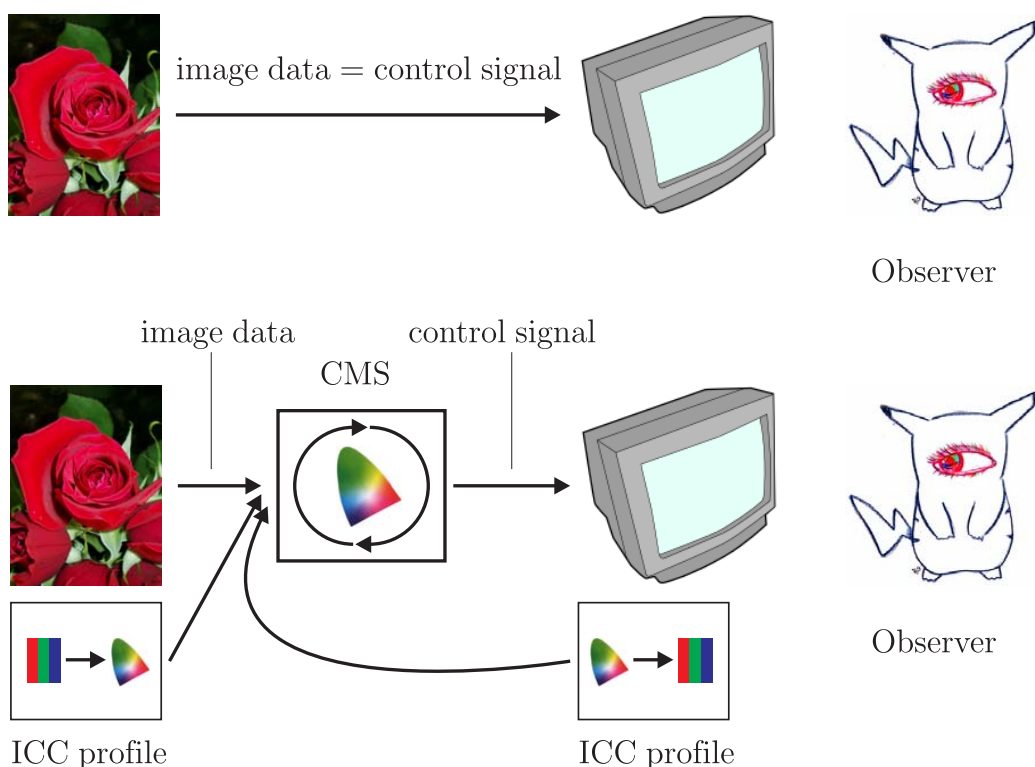
1 Úvod: Barva v digitálních souborech

Z přednášky víme, jak je možné (alespoň teoreticky) vytvořit všechny barvy vnímatelné člověkem pomocí pouhých třech *primárních barev* – červené, zelené a modré (RGB). Kdykoliv reprodukuje barvu na fyzickém zařízení, ať už je to monitor, diapozitiv, nebo výtisk, činíme tak manipulací s červeným, zeleným a modrým světlem, a to buď přímo, např. v monitoru počítače, nebo nepřímo, pomocí barviv ve výtisku.

V digitálním obraze je barva reprezentovaná pomocí *kanálů*, které jsou dále rozděleny do *úrovní*. Kanály jsou typicky tři a odpovídají třem primárním barvám – červené, zelené a modré. Úroveň je typicky 256 (při 8-bitové kvantizaci) a jednotlivé úrovně v každém kanálu odpovídají množství korespondujícího světla (barviva) ve výsledné směsi. S ohledem na historický vývoj digitálního obrazu nejde o přesný matematický popis barvy ale spíše o řídicí signály zobrazovacích zařízení.

Bez další doplňující informace je takový popis barvy velmi *neurčitý*. Můžeme si ho spíše představit jako recept, který každé zařízení interpretuje podle svých schopností. Dejte dvaceti kuchařům stejný recept a dostanete dvacet různých jídel. Stejně tak jsou rozdíly mezi monitory, tiskárnami, scannery, apod., a to i mezi jednotlivými kusy jednoho modelu daného výrobce. Např. LCD monitory se liší podsvícením (intenzitou, luminofory v trubiciích, LED technologií), barevnými filtry na jednotlivých sub-pixelech, vnitřním zpracováním odrazu, atd. Výsledkem je, že každý kus má jiné primární barvy, bílý/černý bod, tonální křivku, apod. Barva výsledného obrazu bude silně záviset na těchto parametrech.

Cestu z tohoto babylonského zmatení, kdy každý monitor hovoří jiným jazykem, nabízí *správa barev* (color management). Základní principy správy barev:



Obrázek 1: Workflow bez správy barev (nahore) a se správou barev (dole).

1. Obrazovým souborům přiřadíme *prostor barev*, který je popsán *barvovým profilem*. Hrubě řečeno, nad třírozměrnými hodnotami RGB úrovní definujeme souřadný systém a jeho bázi vzhledem k prostoru barev, které člověk, resp. průměrný pozorovatel, vnímá. Tím každá hodnota RGB úrovní získá vzhledem k přiřazenému prostoru význam *konkrétní barvy*.

Barvé profily (ICC profiles) jsou digitální soubory s formátem definovaným organizací International Color Consortium (ICC) a obsahují všechnu informaci potřebnou k převodu RGB souřadnic popisovaného prostoru do souřadnic CIE XYZ nebo CIELAB, které reprezentují prostor všech barev vnímatelných průměrným pozorovatelem. Prostory CIE XYZ a CIELAB zde tvoří jakousi společnou řeč, která umožňuje překonat zmiňované babylonské zmatení. ICC profil lze do obrazového souboru vložit přímo jako metadata, nebo lze do obrázku pouze vložit značku (tag) s názvem přiřazeného prostoru barev.

2. Hodnotám RGB (signálům) na vstupu zobrazovacího zařízení přiřadíme prostor barev popsáný barevovým profilem. Tím každé RGB hod-

notě vstupního signálu přiřadíme popis barvy, kterou dané zařízení po jejím obdržení zobrazí.

Barvový profil (popis chování daného zařízení) lze získat měřením zobrazovaných barev na výstupu zařízení pomocí colorimetrické sondy ev. spektrofotometru a určením (modelováním) jejich závislosti na signálech posílaných do daného zařízení.

3. Digitální obrazy nebudeme do zařízení posílat přímo, ale přes systém správy barev (Color Management System – CMS), často přezdívaný *engine*. CMS dostane na vstupu kromě obrazových dat, také profil přiřazující význam (konkrétní barvy) číselným hodnotám v souboru a profil zobrazovacího zařízení, který popisuje chování daného zařízení. Z těchto informací CMS určí, jaké signály je třeba poslat do zařízení, aby opravdu zobrazilo barvy, které obrazový soubor reprezentuje.

2 Kalibrace a profilování monitoru

V této sekci si povíme o kalibraci monitoru a vytvoření ICC profilu s popisem jeho chování.

2.1 Slovníček

Kalibrace – kalibrace je manipulace s nastavením zařízení, jejíž cílem je dosáhnout určitého předepsaného chování. Protože rozhraní mezi monitorem a SW má omezenou bitovou přesnost (většinou 8-bit), je z hlediska kvality obrazu je mnohem výhodnější manipulovat s obrazem až v zobrazovacím zařízení (pomocí vestavěné elektroniky), než celou tuto úlohu nechat na CMS. Pokud by CMS měl provádět drastičtější korekci mohlo by na 8-bitovém přenosovém kanálu dojít k výskytu různých artefaktů a posterizace, pokud však velkou část korekce provádí HW monitoru a CMS signál jen mírně upraví, minimalizuje se výskyt těchto problémů. Ve většině SW balíků kalibrace předchází profilování monitoru.

Profilování – změření chování daného zařízení a vytvoření ICC profilu.

Černý bod – zobrazovaná barva při vstupním RGB signálu „0, 0, 0“ tedy nejčernější černé jakou zařízení umí. Typicky nás zajímá intenzita, ne barevný odstín, tento parametr spolu s hodnotou intenzity bílého bodu určuje kontrast monitoru.

Bílý bod – zobrazovaná barva při vstupním RGB signálu „255, 255, 255“, tedy nejjasnější bílá. Typicky nás zajímá barevný odstín vyjádřený v Kelvinech jako korelovaná barevná teplota [5].

Gamma – historický relikv, vyjadřující parametr nelineární závislosti jasu CRT monitoru na vstupním signálu. LCD monitory tuto nelinearitu napodobují. Na dobře zkalibrovaném systému není konkrétní hodnota tak důležitá, profil zařízení tuto nelinearitu popisuje a CMS ji tedy dokáže kompenzovat. Obecně se ale doporučuje kalibrovat monitor na hodnotu 2.2, která se blíží továrnímu nastavení většiny monitorů, a lze tak dosáhnout minimalizace případných artefaktů.

Primární barvy – barvy jejichž kombinací zařízení reprodukuje barevné vjemy. Každé zařízení může mít tyto barvy jiné.

2.2 Omezení

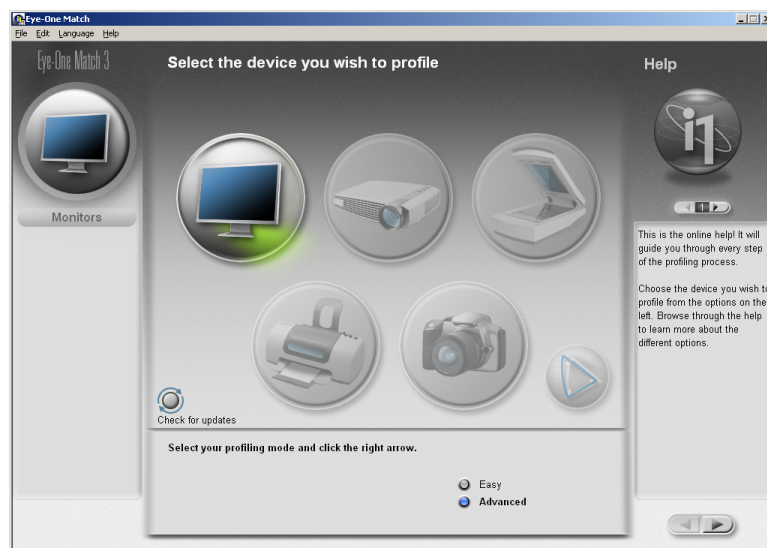
Nic není dokonalé, stejně tak správa barev má své meze. Každý prostor barev je tvořen výhradně barvami, které lze namíchat z nenulových, konečných kombinací primárních barev vlastních tomuto prostoru (ať už je to prostor popisující chování monitoru nebo data v obrázku). Hranice toho prostoru, limitovaná především spektrem (barvou) jeho primárních barev, se nazývá *gamut* (rozsah barev). Barvy mimo rozsah nelze v daném prostoru popsat, tj. obrazový soubor nemůže reprezentovat barvy mimo rozsah jemu přiřazeného prostoru, stejně tak zobrazovací zařízení nemůže zobrazit barvy mimo svůj rozsah.

Protože málokdy si rozsahy prostoru obrazových souborů odpovídají s rozsahem zobrazovacího zařízení (mají jiné primární barvy) nebude nikdy obraz na monitoru (ev. výtisku) přesně odpovídat všem barvám v digitálním souboru. Ze stejného důvodu nikdy na dvou monitorech nedostaneme úplně stejný obraz. Úlohou správy barev je však tyto rozdíly minimalizovat na nejmenší dosažitelnou míru. Barvy ležící v průniku obou rozsahů (gamutů) lze zobrazit přímo. Barvy ležící mimo rozsah cílového prostoru, musí CMS převést na barvy zobrazitelné. Různé způsoby toho převodu (saturation, relative colorimetric, absolute colorimetric a perceptual) budou uvedeny dále v sekci 4.3.

2.3 Postup

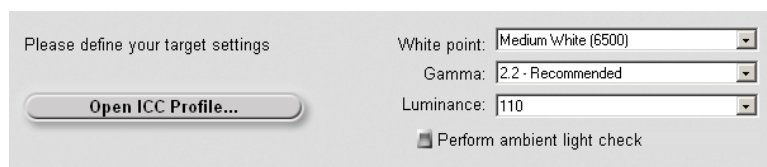
Před samotnou kalibrací je třeba počkat až se monitor *zahřeje*, protože jas podsvícení se zpočátku dosti mění, než se ustálí. Dále uvedený postup se týká software Eye-One Match 3.5.x, měl by však být obdobný v SW jiných výrobců.

1. Vybereme mód *Advanced*.



2. Zvolíme cílové hodnoty:

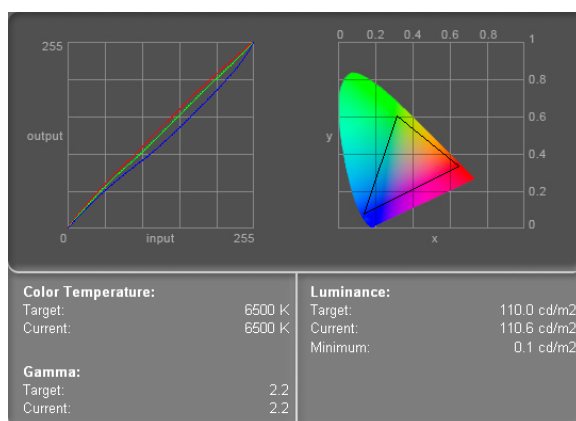
- (a) barvu bílého bodu (White point), typicky (6 500 K ev. 5 000 K),
- (b) jas bílého bodu (Luminance), typicky 110 lm, nebo i méně, pokud pracujeme ve velmi tmavém prostředí,
- (c) hodnotu gamma, typicky 2.2.



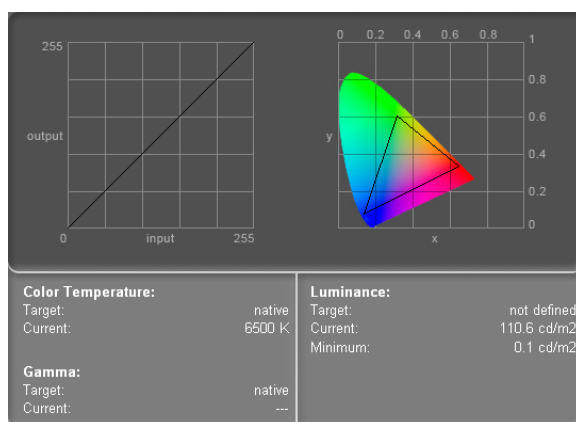
- 3. Provedeme kalibraci podle instrukcí SW.
- 4. V posledním kroku SW zkalibrovaný monitor změří a vytvoří ICC profil.
- 5. Na poslední obrazovce jsou vidět dosažené hodnoty a kalibrační křivky transformující jasovou stupnici, které jsou při aktivaci profilu nahrány do LUT (lookup table) grafické karty. Těmito křivkami bude modifikován signál poslaný do monitoru tak, aby bylo dosaženo kalibračních cílů stanovených v kroku (2) v oblastech, kde toho nebylo dosaženo manipulací s HW monitoru pomocí jeho ovládacích prvků (typicky gamma a barevný odstín jednotlivých úrovní šedé).

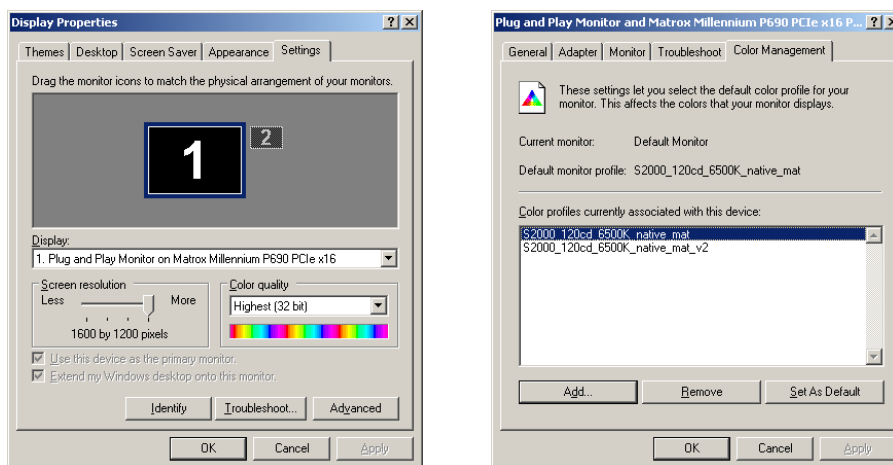
Vzhledem k tomu, že LUT je 8-bitová, dochází při výraznější korekci k degradaci obrazu (ztráta polotónů, tzv. posterizace, případně artefakty na šedé škále). Proto se při kalibraci vždy snažíme, co nejvíce

dosáhnout pomocí ovládacích prvků monitoru. Tím se také liší od běžných monitorů profesionální grafické monitory, které umožňují ve spolupráci s kalibračním software provést nutné korekce ve svém hardware s vysokou bitovou přesností a korekce pomocí LUT grafické karty není potřeba. Kalibrace takových monitorů probíhá navíc automatizovaně, bez zásahů uživatele.



- Někdy může být výhodné po nastavení HW monitoru v předchozích krocích kalibrační SW pustit znovu a jako cílové hodnoty vybrat *native*. Tímto efektivně vypneme kalibraci a SW pouze změří chování monitoru a vytvoří příslušný profil. Výhodou tohoto kroku je, že monitor zůstane nahrubo nakalibrováný z předchozích kroků, kdy jsme podle instrukcí SW upravili jeho nastavení, avšak nedojde již k dodatečné kalibraci pomocí LUT grafické karty. Všechnu zbylou korekci provede až CMS (např. color engine Photoshopu) přímo na obrazových datech při převodu z prostoru obrazového souboru do prostoru monitoru.





Obrázek 2: Přiřazení profilu monitoru ve Windows XP.

3 Správa barev ve Windows

Každý displej může mít přiřazeno několik ICC profilů, z nichž pouze jeden je aktivní (default). ICC profily lze monitoru přiřadit v nastavení vlastností obrazovky (Control Panel/Display/Settings/Advanced/Color Management).

Na rozdíl od Mac OS, Windows neaktualizují LUT grafické karty podle aktivního profilu, takže se může snadno stát, že se monitor chová jinak, než popisuje aktivní profil. Kalibrační/profilovací SW by měl automaticky přiřadit displeji vytvořený profil a nastavit podle něho LUT grafické karty. Ale pokud jste na pochybách, vždy si ověřte, že tak udělal. Po ruční změně profilu v nastavení displeje budete pravděpodobně muset také počítač restartovat, protože kalibrační kalibrační/profilovací SW se stará o aktualizaci LUT pouze při startu systému nebo po nové kalibraci/profilování. To je další výhoda *native* kalibrace popsané v kroku (6) předchozí sekce.

Dodatečně lze také do Windows XP doinstalovat *Microsoft Color Control Panel Applet for Windows XP*, které umožní srovnávat různé barevné prostory a údajně také umí modifikovat LUT při změně aktivního profilu pomocí tohoto rozšíření.

Profily jsou uloženy v adresáři:
 C:\WINDOWS\system32\spool\drivers\color

4 Správa barev v Photoshopu

4.1 Pracovní prostor

Pracovní prostor je prostor barev, do kterého fotografie převedeme (pokud již tak neučinil fotoaparát) a ve kterém budeme provádět všechny další úpravy. Volba pracovního prostoru je důležité rozhodnutí a volíme ho tak, aby odpovídal většině fotografií, které budeme zpracovávat. Vybrané fotografie pak můžeme editovat v jiném než pracovním prostoru, pokud to bude situace vyžadovat, např. když jsme vyfotili velmi saturevanou žlutou květinu a víme, že by rozsah (gamut) pracovního prostoru nestačil.

Velký neznamená vždy lepší. Vzhledem k povaze digitálních dat máme pouze omezené množství RGB úrovní (a tedy i barev), při 8-bit kódování pouze 256. Ve větším prostoru budou od sebe jednotlivé barvy, které jsme schopni digitálně zakódovat, více vzdáleny a hrozí vznik posterizace na jemných barevných přechodech. Proto je u barevných prostorů s velkým rozsahem třeba myslet na to, že bychom fotografii měli editovat v 16-bitovém kódování.

Další nevýhodou velkých prostorů je, že obsahují spoustu barev, které nikdy nezobrazíme na monitoru, takže predikovat výsledek (odhadnout co nakonec tiskárna vytiskne) při barevných korekcích fotografie je mnohem obtížnější.

Nejběžnější pracovní prostory jsou:

sRGB – původně vznikl jako prostor popisující vlastnosti CRT monitoru, obsahuje většinu barev, které se běžně vyskytují. Bez problémů zobrazitelný na běžném (lepší) LCD (ne wide-gamut). S drobnými kompromisy zobrazitelný i na wide-gamut monitorech (pokud nemají HW kalibraci a emulaci menšího sRGB prostoru může dojít díky 8-bit přenosu přes DVI rozhraní ke ztrátě polotónů, posterizaci). Neobsahuje některé hodně saturevané odstíny azurové (cyan), purpurové (magenta) a žluté, které lze vytisknout na CMYK zařízeních.

Adobe RGB – vytvořený firmou Adobe pro potřeby DTP. Větší než sRGB, pokrývá lépe rozsah CMYK prostorů. Lépe zobrazitelný na wide-gamut monitorech, ale jen drahé profesionální monitory tento prostor umí zobrazit úplně celý.

ProPhoto RGB – obrovský prostor. Vytvořen k tomu, aby pokryl všechny barvy, které lze vyfotit digitálním fotoaparátem (to ale nic neříká o tom, jak moc jsou takové barvy běžné!). Pokud si myslíte, že správnou volbou bude použit jako pracovní prostor pro editaci všech vašich fotografií prostor, který bez výjimky pokryje všechny barvy, které váš fotoaparát *dokáže* vyfotit a vaše tiskárna vytisknout, přečtěte si příspěvek [2] Dana Margulise v obsáhlé diskusi [3] o významu ProPhoto RGB.

4.2 Přiřazení profilu vs. převod mezi prostory

Při otevření souboru, který nemá přiřazený prostor barev, se nás Photoshop zeptá (pokud je správně nastaven), jak z takovým souborem naložit. Takovému souboru můžeme buď nějaký prostor přiřadit (pokud víme jaký), nebo ho editovat bez správy barev.

Pokud otevíráme soubor, který má přiřazený prostor barev odlišný od našeho pracovního souboru, Photoshop se nás opět zeptá, jak z takovým souborem naložit. Máme na výběr mezi přiřazením pracovního prostoru, převedením do pracovního prostoru, nebo ponecháním souboru v jeho původním prostoru. Obvykle volíme převod do pracovního prostoru, nebo ponechání v prostoru původním.

Přiřazení profilu – Přiřazením profilu zůstanou zachovaná data souboru, ale změní se jejich význam – v nově přiřazeném prostoru mohou stejné RGB hodnoty reprezentovat různé barvy.

Převedení do prostoru – Převedením obrazového souboru z jednoho prostoru do jiného prostoru změníme data (RGB hodnoty jednotlivých pixelů) tak, aby zůstaly barvy jednotlivých pixelů více či méně zachovány. O různých možnostech převodu viz následující sekce.

4.3 Záměr reprodukce

„Dobře“ může znamenat v různých situacích něco jiného. Dobrý překlad technického manuálu z jednoho jazyka do druhého se bude lišit od překladu Shakespeara. V obou případech je cíl stejný, přeložit daný text, ale liší se záměrem. V prvním bude překladatel klást důraz na maximální přesnost jednotlivých detailů, zatímco ve druhém případě to bude spíše estetické vyznění textu.

Obdobně je nutno uvažovat při převodech mezi prostory barev, jejichž rozsahy si neodpovídají. I zde je třeba určit záměr reprodukce (rendering intent). Norma ICC rozlišuje čtyři záměry:

Perceptuální – Snaží se zachovat celkový vzhled barev tak, aby se celý rozsah zdrojového prostoru vměstnal do cílového prostoru a zároveň se zachovaly vztahy mezi jednotlivými barvami, které jsou pro lidské vnímání mnohem důležitější než absolutní hodnoty barev. Vhodný pro převod obrazů s velkým podílem barev mimo rozsah cílového prostoru.

Sytost (saturation) – Cílem je zachování maximální sytosti barev na úkor přesnosti. Převádí plně syté (saturované) barvy ze zdrojového prostoru na plně syté v cílovém prostoru. Vhodný pro koláčové grafy a podobnou grafiku.

Relativní kolorimetrický – Relativní kolorimetrický převod bere v úvahu schopnost lidského oka se adaptovat na bílou pozorovaného média. Bílou

barvu zdrojového prostoru převede na bílou v cílovém prostoru, takže bílá po převodu bude mít odstín papíru namísto bílé původního prostoru. Ostatní barvy, které se vejdu do rozsahu cílového prostoru zůstanou beze změny. Barvy mimo rozsah budou převedeny na nejbližší barvu se stejným odstínem. Tento převod je většinou vhodnější pro fotografie než perceptuální, protože zachová více původních barev.

Abolutní kolorimetrický – Tento záměr je obdobný jako reaktivní kolorimetrický. Navíc zachová odstín bílé, takže např. namodralá bílá ze zdrojového prostoru bude simulovaná na nažloutlém papíru pomocí trochy azurové barvy. Tento záměr je především vhodný k náhledu tisku na odlišných médiích (*proofing*).

4.4 Nastavení

V první sekci si zvolíme pracovní prostor. Ve druhé sekci chování Photoshopu při otevírání souborů nebo vkládání ze schránky. Doporučené nastavení dle screenshotu na obrázku 3. Photoshop vás tak vždy upozorní, že otevíráte soubor s jiným než pracovním prostorem, a zeptá se vás jak s ním naložit (zachovat prostor souboru/převést do pracovního). Stejně se bude chovat i při vkládání ze schránky. Taktéž se zeptá jak naložit se souborem, který nemá žádný prostor přiřazený.

V další sekci se volí nastavení barevných převodů. Doporučené nastavení dle screenshotu na obrázku 3.

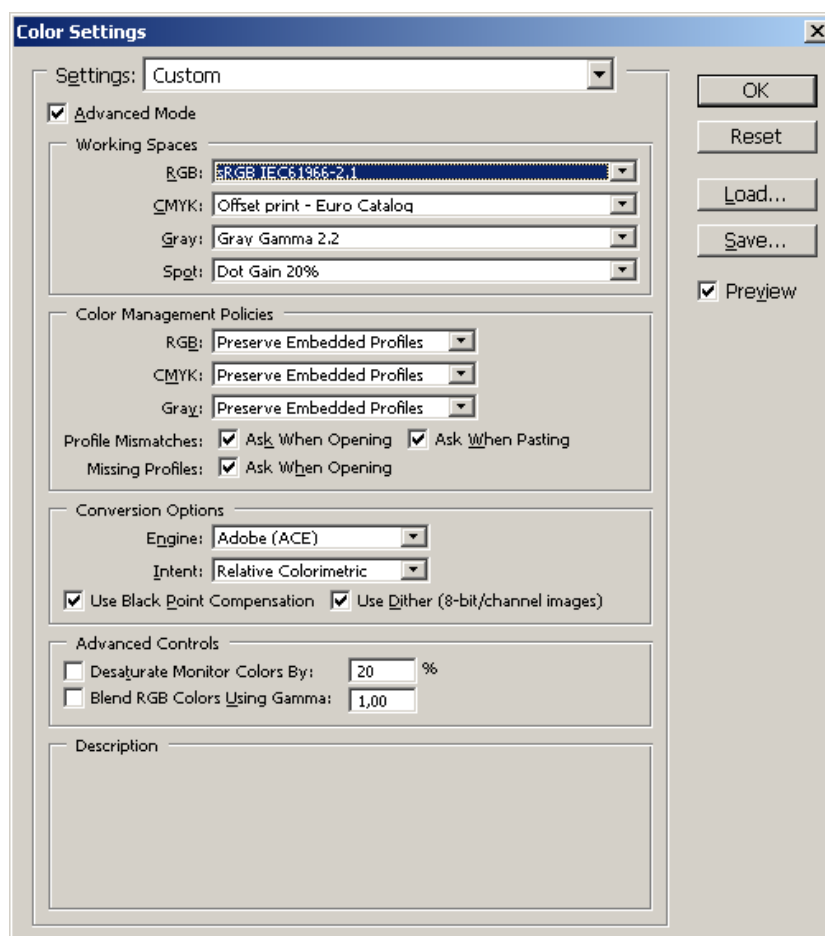
Black point compensation je specialita Adobe a zajistí přemapování černé ze zdrojového prostoru na černou cílového prostoru, tak se maximálně využije dynamický rozsah barevného prostoru.

4.5 Soft-Proofing

Soft-Proofing slouží k *simulaci* různých výstupních zařízení na monitoru. Se zaplým *Proof Colors* v Photoshopu se obrazová data nejprve převedou do barevného prostoru simulovaného zařízení a následovně se z tohoto prostoru převedou do prostoru monitoru, aby se korektně zobrazila. Proof setup nabízí několik nastavení:

Preserve color numbers – Jak by to vypadalo, kdyby se do simulovaného zařízení poslali jasové hodnoty ze souboru přímo, bez barevných konverzí, které normálně dělá CMS.

Intent – Volba záměru konverze (rendering intent) z prostoru obrazového souboru do simulovaného prostoru. Umožňuje náhled různých druhů konverze.



Obrázek 3: Nastavení Photoshopu.

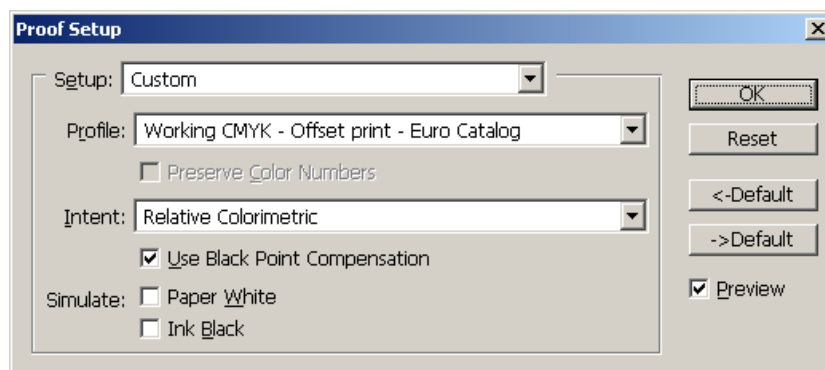
Black Point Compensation – Vypíná/zapíná *black point compensation* při konverzi z prostoru obrazového souboru do simulovaného prostoru.

Volby *Simulate* ovlivňují konverzi ze simulovaného prostoru na monitor.

Paper White – Pokud je zapnuto, provádí se převod ze simulovaného prostoru na monitor pomocí *absolute colorimetric* metody. Umožňuje náhled barvy papíru jejího vlivu na ostatní barvy v obraze.

Ink Black – Pokud je zapnuto, vypíná *black point compensation* pro převod ze simulovaného prostoru na monitor. Takže když je inkoust simulovaného zařízení světlejší než černá monitoru, *Ink Black* ukáže vybledlé stíny.

Pokud jsou obě volby *Paper White*. a *Ink Black* vypnuté probíhá převod ze simulovaného prostoru na monitor pomocí metody *relative colorimetric* s *black point compensation*. Což znamená, že simulovaná bílá bude zobrazená jako bílá monitoru a simulovaná černá jako černá monitoru.



Obrázek 4: Proof setup.

Cvičení 1: Stáhněte si pokusnou fotku z adresy: <http://cmp.felk.cvut.cz/~cermal1/files/color/test1.jpg>. Zapněte Proof/Monitor RGB. Měli byste vidět, jak by fotka vypadala bez správy barev. Lze vypínat/zapínat pomocí `ctrl+y`.

Cvičení 2: Zkuste si proof výtisku na minilabu Fuji-Frontier 570 (soubor `dpII_frontier570_generic.icc`).

5 Praktické rady

5.1 Data pro digitální minilab

Některé minilaby nabízejí ke stažení profil tiskového stroje a umožňují zpracování fotografií, které již uživatel převedl do prostoru jejich zařízení. Např. Ultralab (<http://www.ultralab.cz/cs/profily/>).

Po stažení profilu a jeho uložení do

`C:\WINDOWS\system32\spool\drivers\color` se nabízí dva způsoby práce:

(1) Použijeme soft-proof pro simulaci minilabu a závěrečné barevné a tonální korekce provedeme v našem běžném pracovním prostoru. Po skončení korekcí převedeme soubor do sRGB prostoru, který je minilaby běžně vyžadován na vstupu.

(2) Po skončení všech retuší převedeme soubor do prostoru minilabu a závěrečné korekce provedeme přímo v prostoru minilabu. Takto také soubor uložíme. Obsluhu minilabu pak důrazně upozorníme, že soubor je již převeden do prostoru jejich stroje a že s ním nic dalšího nemají dělat.

Pro maximalizaci kvality je vhodné zasílat fotografie ve formátu TIFF, ovšem v 8-bit a bez jakékoliv komprese, kvůli kompatibilitě.

5.2 Data na web

Přestože některé internetové prohlížeče mají implementovanou správu barev, např. Safari nebo Firefox od verze 3 (ve Firefox je nutno po instalaci tuto vlastnost zapnout: `about:config`, volba `gfx.color_management.enabled`), většina ostatních prohlížečů správu barev nezvládá, proto na web dávejte obrázky přednostně v sRGB barevném prostoru, který je (a) standardem pro web (b) blízko běžnému monitoru (ne však wide-gamut).

Pokud je váš pracovní prostor jiný než sRGB, po skončení všech editací soubor na závěr zkonvertujte do sRGB a uložte.

6 Color Control Panel

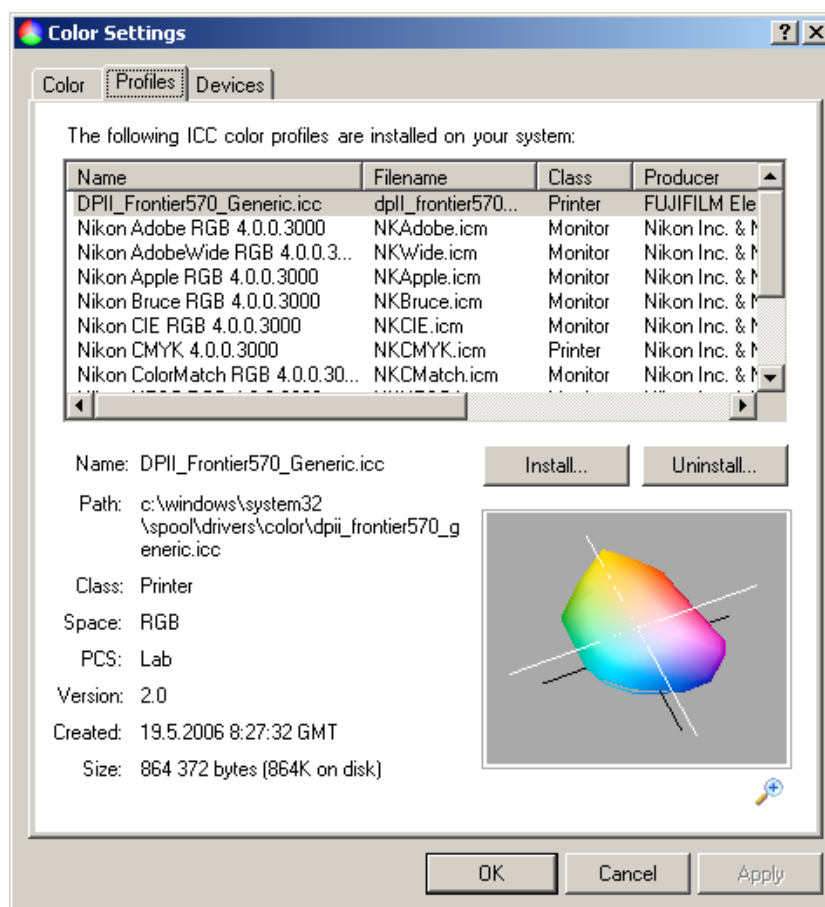
Microsoft Color Control Panel Applet for Windows XP najdete v *Control Panelu* pod názvem *Color*.

Cvičení 3: Vyberte profil sRGB a klepnutím na ikonku lupy zobrazte vizualizační nástroj. Zde porovnejte profil s profilem monitoru.

Cvičení 4: Porovnejte profil sRGB s profilem minilabu (soubor `dpII_frontier570_generic.icc`).

7 Závěrečné poznámky

1. Při posuzování barev je vhodné schovat ovládací prvky Photoshopu, ať barvy GUI prvků neovlivňují váš barvocit.
2. Aby vše fungovalo, je potřebná disciplína – mít otagované soubory, správně nastavený Photoshop, zkalibrovaný/zprofilovaný monitor, apod.
3. Správa barev za vás neopraví špatné fotografie, jen umožní předvídatelnost a opakovatelnost výsledku.
4. Vyčerpávajícím a dobře stravitelným zdrojem (i pro ne-techniky) je kniha [1].
5. Zdrojem v češtině, avšak více technicky zaměřeným, může být série článků Radky Tezaur na Paladixui [4].



Obrázek 5: Color Control panel.

8 Početní úloha

V obrazovém souboru mám bod s RGB hodnotami „100, 180, 70“.

Otázka 1: Jaká barva (vyjádřete v CIE XYZ souřadnicích) se zobrazí po obdržení těchto RGB hodnot (souřadnic) na monitoru Supersvit, jehož primární barvy mají CIE XYZ souřadnice

$$S_r = \begin{pmatrix} 0.4065 \\ 0.2127 \\ 0.0063 \end{pmatrix}, S_g = \begin{pmatrix} 0.3191 \\ 0.7152 \\ 0.0660 \end{pmatrix}, S_b = \begin{pmatrix} 0.1684 \\ 0.0722 \\ 0.9625 \end{pmatrix} \quad (1)$$

a hodnota gamma je rovna jedné (tedy monitor je lineární)?

Odpověď 1: Výsledná barva bude tvořena lineární (přesněji konvexní) kom-

binací primárních barev S_r, S_g, S_b . Parametry kombinace (množství jednotlivých primárních barev) tvoří normalizované RGB hodnoty.

Nejprve normalizujeme jasové hodnoty na rozsah $\langle 0, 1 \rangle$:

$$C = \begin{pmatrix} 100 \\ 180 \\ 70 \end{pmatrix} \frac{1}{255} = \begin{pmatrix} 0.3922 \\ 0.7059 \\ 0.2745 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Hodnotu barvy zobrazené na monitoru Supersvit spočteme pomocí

$$C_S = 0.3922S_r + 0.7059S_g + 0.2745S_b, \quad (3)$$

nebo maticově pomocí

$$C_S = (S_r S_g S_b)C = \begin{pmatrix} 0.4065 & 0.3191 & 0.1684 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0063 & 0.0660 & 0.9625 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.3922 \\ 0.7059 \\ 0.2745 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4309 \\ 0.6080 \\ 0.3133 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Otázka 2: Jaká barva (vyjádřete v CIE XYZ souřadnicích) se zobrazí po obdržení stejných RGB hodnot (souřadnic) na monitoru Ostrovid, jehož primární barvy mají CIE XYZ souřadnice

$$O_r = \begin{pmatrix} 0.3815 \\ 0.2127 \\ 0.0313 \end{pmatrix}, O_g = \begin{pmatrix} 0.3901 \\ 0.7152 \\ 0.1950 \end{pmatrix}, O_b = \begin{pmatrix} 0.1714 \\ 0.0722 \\ 0.6587 \end{pmatrix} \quad (5)$$

a hodnota gamma je rovna jedné (tedy monitor je lineární)?

Odpověď 2: Hodnota barvy zobrazená na monitoru Ostrovid bude:

$$C_O = \begin{pmatrix} 0.3815 & 0.3901 & 0.1714 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0313 & 0.1950 & 0.6587 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.3922 \\ 0.7059 \\ 0.2745 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4720 \\ 0.6080 \\ 0.3308 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Otázka 3: Jakou barvu (vyjádřete v CIE XYZ souřadnicích) reprezentuje hodnota RGB „100, 180, 70“ vzhledem k prostoru Demo RGB? Jehož primární barvy mají CIE XYZ souřadnice

$$D_r = \begin{pmatrix} 0.4124 \\ 0.2127 \\ 0.0193 \end{pmatrix}, D_g = \begin{pmatrix} 0.3576 \\ 0.7152 \\ 0.1192 \end{pmatrix}, D_b = \begin{pmatrix} 0.1805 \\ 0.0722 \\ 0.9504 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

a hodnota gamma je rovna jedné (jedná se o lineární prostor)?

Otázka 4: Jake RGB hodnoty je třeba poslat do monitoru Supersvit a Ostrovid, aby zobrazili barvu z otázky 3?

Graficky:

$$C_S : \begin{array}{c} \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \end{array} = 0.3922 \cdot \begin{array}{c} \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \end{array} + 0.7059 \cdot \begin{array}{c} \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \end{array} + 0.2745 \cdot \begin{array}{c} \text{[Blue]} \\ \text{[Blue]} \\ \text{[Blue]} \end{array} \quad (8)$$

$$C_0 : \begin{array}{c} \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \end{array} = 0.3922 \cdot \begin{array}{c} \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \end{array} + 0.7059 \cdot \begin{array}{c} \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \end{array} + 0.2745 \cdot \begin{array}{c} \text{[Purple]} \\ \text{[Purple]} \\ \text{[Purple]} \end{array} \quad (9)$$

$$C_D : \begin{array}{c} \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \\ \text{[Green]} \end{array} = 0.3922 \cdot \begin{array}{c} \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \\ \text{[Red]} \end{array} + 0.7059 \cdot \begin{array}{c} \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \\ \text{[Cyan]} \end{array} + 0.2745 \cdot \begin{array}{c} \text{[Blue]} \\ \text{[Blue]} \\ \text{[Blue]} \end{array} \quad (10)$$

Reference

- [1] B. Fraser, C. Murphy, and F. Bunting. *Real World Color Management, 2nd ed.* Peachpit Press, 2005.
- [2] D. Margulis. Gamut tests of two sample images. http://www.ledet.com/margulis/2007HTM/ACT06-Prophoto_Dan.htm, 2007.
- [3] The merits of ProPhoto RGB. http://www.ledet.com/margulis/2007HTM/ACT06-ProPhoto_RGB.htm, 2007.
- [4] R. Tezaur. Seriál o Color Management. <http://www.paladix.cz/serial/10047.html>, 2003–2005.
- [5] Wikipedia. Color temperature. http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature, 2009.