

Spracovanie farieb

Dôležitou časťou počítačovej grafiky v trojrozmernom priestore je aj spracovanie farieb. Ak by sme zobrazovali steny priestorových objektov len zadanou farbou telesa, nedostali by sme skutočne reálny priestorový obraz. Preto sa pri zobrazovaní priestorových objektov využívajú na zvýraznenie krivosti ich povrchov farebné odtiene. Pomocou rôznych farieb je možné rozlíšiť vzdialenosť objektov od pozorovateľa, ako aj tvar ich povrchu osvetlený zdrojmi svetla.

Svetlo a farba

To, čo chápeme ako svetlo alebo rôzne farby, je úzke frekvenčné pásmo v oblasti 10^{14} Hz vnútri elektromagnetického spektra. Elektromagnetické vlnenie sa zadáva dĺžkou periódy alebo frekvenciou.

Základné pojmy:

Vlnová dĺžka - dĺžka jedného cyklu vlny. Vlnová dĺžka je vodorovná vzdialenosť medzi dvoma za sebou idúcimi rovnocennými bodmi vlny.

Perióda alebo **do**ba kmitu **T** - čas, za ktorý prejde vlna vzdialenosť jednej vlnovej dĺžky. Perióda je čas potrebný na jeden celý cyklus vlny. Meria sa v sekundách.

Vlnová dĺžka **λ** svetla je vzdialenosť, ktorú prejde svetlo v prostredí počas jednej periódy.

Frekvencia alebo **kmitočet** **f** . Kmitočet **f** je rovný počtu kmitov, ktoré sa udejú za 1 sekundu. Je prevrátenou hodnotu periódy $f = 1 / T$. $[f] = 1/s = 1 \text{ Herz (Hz)}$.

Každá frekvencia vo vnútri viditeľného pásma zodpovedá určitej farbe. Na spodnom konci rozsahu je červená farba ($4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$) a najvyššiu frekvenciu má fialové svetlo ($7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$). Medzi týmito krajnými frekvenciami môže ľudské oko rozlíšiť až 400 000 rôznych farieb. Tieto farby pokrývajú farebný rozsah od červenej, cez oranžovú a žltú pre nižšie frekvencie až po zelenú, modrú a fialovú pre vyššie frekvencie.

Viditeľné svetlo sa nachádza v pásme od 380 nm (fialové svetlo) do 780 nm (červené svetlo). Oblasť pod 380 nm je **ultrafialové žiarenie** a nad 780nm je **infračervené žiarenie**.

Svetelný zdroj, ako je slnko alebo žiarovka, vysiela všetky frekvencie v danom pásme, ktoré sa tak skladajú do výsledného bieleho svetla. Také svetlo sa nazýva achromatické.

Ak dopadá biele svetlo na objekt, sú niektoré jeho frekvencie odrazené a niektoré sú pohltené objektom. Kombinácia frekvencií prítomných v odrazenom svetle vytvára to, čo vnímame ako farbu objektu. Ak v odrazenom svetle prevládajú nízke frekvencie, je objekt vnímaný ako červený. Vtedy hovoríme, že vnímané svetlo má dominantnú frekvenciu (alebo dominantnú vlnovú dĺžku) na červenom konci spektra. Dominantná frekvencia je často nazývaná farbou alebo zafarbením svetla, prípadne tónom.

Pre opis charakteristík svetla sú okrem frekvencie užitočné aj ďalšie vlastnosti. Ak pozorujeme zdroj svetla, naše oko reaguje nielen na farbu, ale aj na ďalšie podnety:

Jas, prípadne svietivosť, reprezentuje intenzitu svetla, pričom pri väčšej intenzite je zdroj svetla jasnejší. **Sýtosť** hodnotí čistotu farby svetla. Čím je väčšia, tým je užšie spektrum farebných frekvencií obsiahnutých v svetle. **Svetlosť** určuje veľkosť achromatickej zložky obsiahnutej v svetle s určitou dominantnou frekvenciou. **Farebný tón** označuje prevládajúcu spektrálnu farbu.

Ak pozorujeme svetlo vytvorené kombináciou dvoch alebo viacerých zdrojov, vnímame výsledné svetlo s charakteristikami, ktoré sú určené pôvodnými zdrojmi. Ak použijeme dva svetelné zdroje s rôznymi farbami a intenzitami, môžeme vytvoriť škálu ďalších farieb. Ak kombináciou dvoch farebných zdrojov získame biele svetlo, označujeme tieto farby ako doplnkové (komplementárne). Je jasné, že rôznymi kombináciami farieb sa dá vytvoriť veľké množstvo farebných odtieňov. Dajú sa nájsť také základné farby (resp. dominantné frekvencie), ktorých postupným skladaním by sa dali vytvoriť všetky existujúce farby?

Z vlastností skladania vlnových dejov vyplýva, že neexistujú také dominantné frekvencie, zložením ktorých by vznikli všetky ostatné farebné frekvencie. Ale aj tak sa dá vybrať niekoľko základných farieb, ktoré vytvoria základ pre veľkú časť existujúcich farebných odtieňov.

Farebné modely

Na určenie farieb existuje viacero farebných atlasov. Najznámejší je Munsellov atlas, ktorý obsahuje farby zoradené podľa tónu farby, čistoty farby a jas.

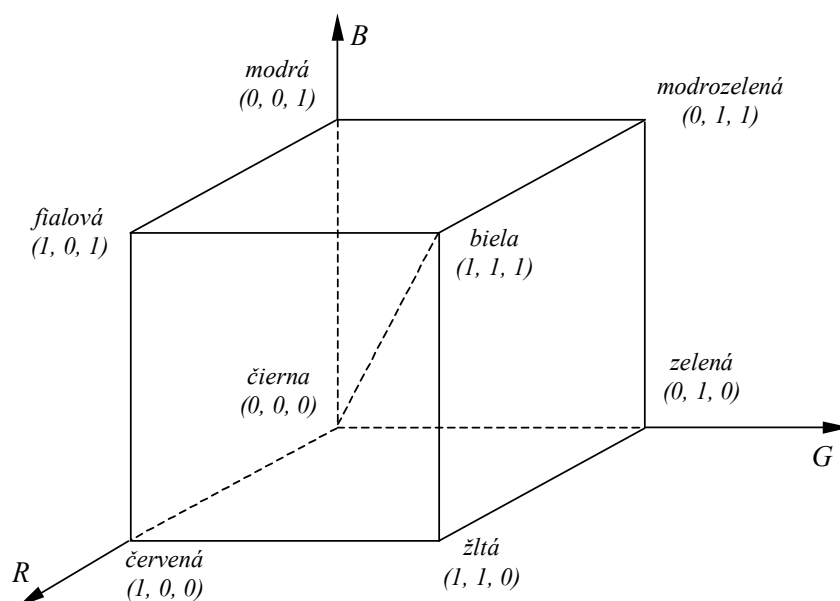
Pri práci s farbami je dôležitá jednak voľba základných farieb, jednak spôsob ich kombinovania – miešania.

Rozlišujeme 6 základných oblastí farieb :

- fialovú (magenta - M)
- modrú (blue - B)
- modrozelenú (cyan - C)
- zelenú (green - G)
- žltú (yellow - Y)
- červenú (red - R)

Pomocou týchto základných farieb môžeme vytvoriť väčšinu ostatných farieb. Ak použijeme 3 základné farby: červenú, zelenú a modrú, tak hovoríme o **aditívnom RGB modeli** (ide o sčítanie intenzít svetelných zdrojov). Pri použití modrozelennej, fialovej a žltej o **subtraktívnom CMY modeli**. Doplnkovými farbami sa nazývajú také dve farby, ktoré po zložení dajú bielu farbu. Doplnkovou farbou červenej je modrozelená ($R - C$), zelenej fialová ($G - M$) a modrej žltá ($B - Y$).

Model RGB



Obr. 1 Model RGB

Experimentálne boli zisťované reakcie oka na farby. Ukázalo sa, že v ľudskom oku sú tri typy zrakových buniek, ktoré majú u väčšiny ľudí najvyššiu citlivosť na vlnové dĺžky v rozsahu približne 630 nm (červená), 530 nm (zelená) a 450 nm (modrá). Ľudské oko je najviac citlivé na zelenú, potom červenú a najmenej na modrú farbu. Tomuto spôsobu

vnímania sa najviac približuje farebný výstup na RGB monitoroch, kde sú farby vytvárané kombináciou troch základných farieb: červenej, zelenej a modrej. Jedným z najznámejších modelov je preto model RGB.

Farebný rozsah môžeme v modeli RGB zobrazit' pomocou jednotkovej kocky umiestnenej do sústavy súradníc s osami označenými r , g , b . Začiatok sústavy súradníc zodpovedá čiernej farbe, vrchol $(1, 1, 1)$ bielej farbe. Vrcholy kocky, ktoré ležia na osiach, predstavujú základné farby, zostávajúce vrcholy reprezentujú doplnkové farby ku každej zo základných farieb. Jednotlivé osi súradnicového systému reprezentujú veľkosť príslušnej farebnej zložky vo výslednej farbe.

Model RGB je súčtovým modelom. Základom RGB modelu je aditívne skladanie farieb červenej, zelenej a modrej. Váhovým súčtom intenzít základných farieb sa vytvárajú nové farby. Čím majú intenzity farieb väčšiu hodnotu, tým je výsledná farba svetlejšia. Každý farebný bod vo vnútri kocky môže byť reprezentovaný ako trojica (r, g, b) , kde hodnoty r , g a b sú z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Fialový vrchol je získaný súčtom červenej a modrej, má teda súradnice $(1, 0, 1)$. Biela vo vrchole $(1, 1, 1)$ je súčtom hodnôt v červenom, zelenom a modrom vrchole. Odtiene šedej zodpovedajú bodom na diagonále kocky spájajúcej čierny a biely vrchol.

Intenzity základných farieb sa v modeli RGB pohybujú v intervale $\langle 0, 1 \rangle$. Pri opise farieb v počítači je tento rozsah prevedený do intervalu celých čísel. V počítačovej grafike sa ako štandard používa delenie na 256 dielov. Intenzitu potom môžeme kódovať pomocou ôsmich bitov. Ľubovoľný bod vo vnútri kocky RGB sa dá reprezentovať 24 ($= 3 * 8$) bitmi. V anglickej terminológii sa farby kódované pomocou 24 bitov označujú ako *true colors*. Každá základná farba je na počítačovej obrazovke reprezentovaná hodnotou intenzity 0 až 255. Celkovo je teda 256^3 kombinácií farieb. Bielu farbu dostaneme nastavením hodnôt RGB na maximum ($R = 255, G = 255, B = 255$). Čiernu farbu zase nastaveným hodnôt RGB na minimum ($R = 0; G = 0, B = 0$). Ak hodnoty jednotlivých farieb budú rovnaké a intenzitu meníme od 0 po 255, tak dostaneme postupne 256 odtieňov šedej.

Pojem RGBA

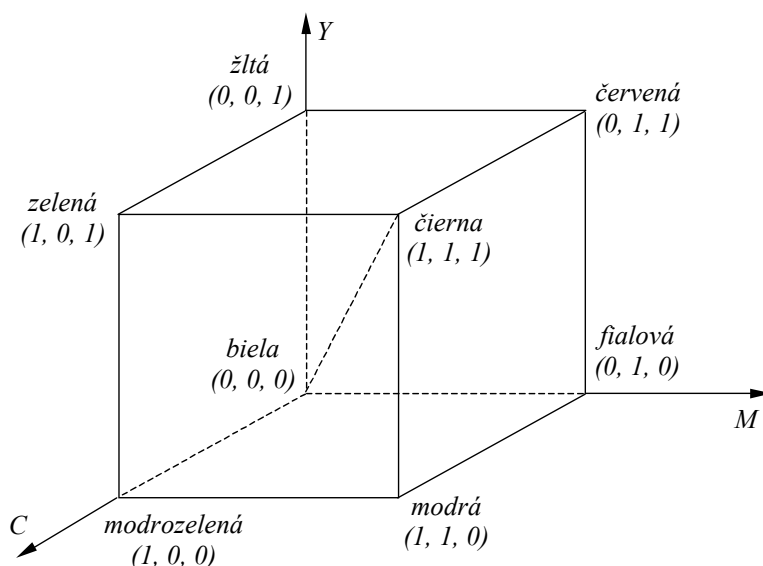
Táto skratka sa používa v počítačovej grafike na vyjadrenie skutočnosti, že farebný obraz zapísaný v modeli RGB je doplnený informáciou o priehľadnosti. Každý farebný bod takéhoto obrazu je charakterizovaný skalárnym údajom z intervalu od 0 do 1 určujúcim

pomer, v akom sa farba bodu zmieša s farbou bodu na pozadí obrazu. Hodnota 0 znamená nepriehľadný farebný bod, hodnota 1 úplne priehľadný. Pri zobrazovaní samotného obrazu nemá zložka A (alfa – kanál, α - channel) význam. Používa sa pri kombinácii viacerých obrazov do jedného celku.

Pojem RGBA teda neznamená zmenu farebného modelu, ale len pridanie ďalšej informácie. Zložka A sa najčastejšie ukladá do rozsahu jedného bajtu.

Model CMY, CMYK

Ľudská skúsenosť so skladaním farieb však vychádza zo substraktívneho miešania farieb. Model CMY vychádza z maliarskeho miešania farieb, pri ktorom pridávaním hodnôt jednotlivých farebných zložiek dostávame výslednú farbu tmavších odtieňov, tzv. substraktívne miešanie farieb. Základnými farbami sú: modrozelená (C), fialová (M) a žltá (Y). Model CMY môžeme podobne ako model RGB opísať pomocou jednotkovej kocky umiestnenej v súradnicovom systéme s vrcholom v bode $(0, 0, 0)$. Tento vrchol reprezentuje bielu farbu, vrchol $(1, 1, 1)$ zase čiernu. Kocka CMY je do určitej miery zhodná s kockou RGB. V jej vrcholoch ležia základné farby a k nim farby doplnkové. Hlavná diagonála obsahuje stupne šedej. Skladaním farieb však vzniká tmavší odtieň, takže vrchol $(1, 1, 1)$ predstavuje čiernu farbu.



Obr. 2 Model CMY

Prevod medzi modelmi RGB a CMY je jednoduchý. Ak vyjadríme farebný vektor v priestore RGB trojprvkovou maticou $[r \ g \ b]$, určíme vektor $[c \ m \ y]$ v priestore CMY odčítaním matíc

$$[c \ m \ y] = [1 \ 1 \ 1] - [r \ g \ b]$$

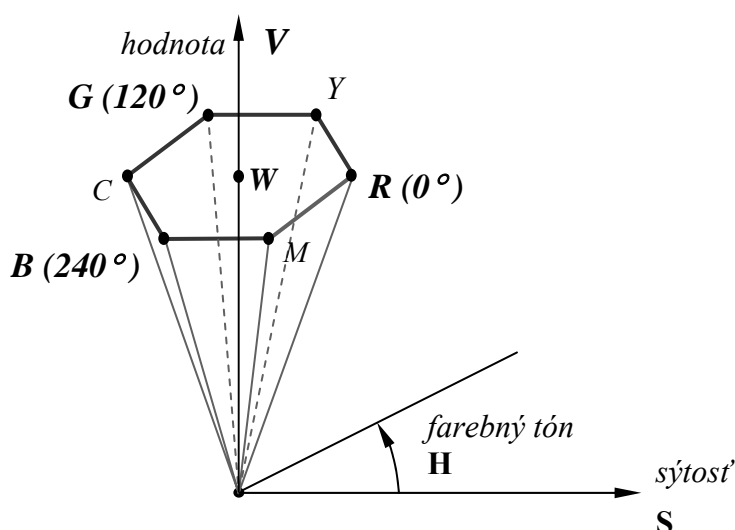
Obrátený prevod je analogický.

Substraktívne miešanie je vhodné na tlačiarenské účely, hlavne pri atramentových tlačiarňach, kde sa uplatňuje aj model CMYK, v ktorom je pridaná čierna farba. Je to kvôli tomu, že pri tlači sa výsledná farba nemieša, ale postupne sa naniesú jednotlivé farby. Takýto postup ale nie je dostatočne presný a pri tlačení čiernej farby dostaneme skôr tmavohnedú. Preto sa pridáva zvlášť čierna farba, prípadne je v samostatnom toneri a tlačí sa zvlášť.

Model HSV a HLS

Modely RGB a CMY sú priamo použiteľné pre zodpovedajúce technické zariadenia. Pre väčšinu používateľov je zložitý určit množstvo základných farieb na získanie požadovaného odtieňa. V týchto modeloch nie je napríklad jednoduché zmeniť pre danú farbu jej odtieň tak, aby sýtosť zostala zachovaná. Preto boli vyvinuté farebné modely určené farebnými charakteristikami, ktoré sú blízke intuitívnemu opisu farieb.

Model HSV



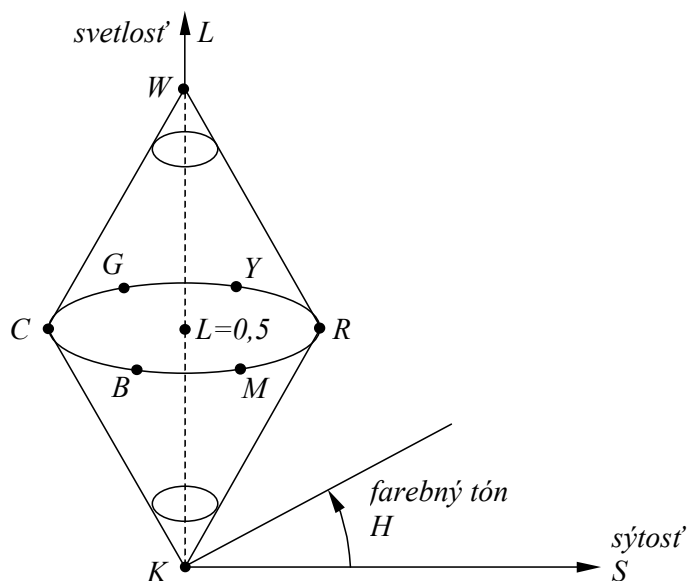
Obr. 3 Model HSV

Základnými premennými sú **tón farby** (*Hue*), **sýtosť** (*Saturation*) a **jasová hodnota** (*Value* alebo aj *brightness*). **Tón farby** určuje prevládajúcu spektrálnu farbu, **sýtosť** určuje

prímes ostatných farieb a **jas** množstvo bieleho (bezfarebného) svetla. Pre priestorové zobrazenie používame pravidelný 6-boký ihlan, ktorého vrchol ležiaci v začiatku súradnicovej sústavy HSV reprezentuje čiernu farbu (K - black) a podstava je v jednotkovej výške. V ostatných vrcholoch sú umiestnené základné farby R, G, B, C, M a Y. Jas (V) rastie smerom k podstave, stred podstavy znamená bielu farbu. Sýtosť je znázornená ako vzdialenosť bodu od osi ihlanu. Dominantné farby teda ležia na plášti, čisté farby sú potom na obvodě podstavy. Súradnice S a V sa menia od 0 do 1, súradnica H je uhlová – nadobúda hodnoty od 0° do 360° . Bodu so súradnicami $S = 0$, $V = 1$ zodpovedá biela farba (W). Medzi bielou a čiernou farbou sú body šedej farby. Ak $S = 0$, potom hodnota H nie je definovaná a farba bodu zodpovedá podľa hodnoty V niektorej šedej farbe. Napr. červená farba má súradnice $H = 0$, $S = 1$, $V = 1$. Pri pohybe po obvodě v rovnakej výške od základne sa postupne mení farebný tón (V); sýtosť (S) a jas (V) zostávajú nezmenené.

Model HSV má niektoré nedostatky, ktoré síce nie sú zásadného charakteru, ale môžu sťažovať prácu s definovaním farby v priestore HSV. Jedným z nedostatkov je jeho ihlanový tvar, ktorý spôsobuje to, že vo vodorovnom reze sa musí bod s konštantnou hodnotou sýtosti S pohybovať pri zmene hodnoty H po dráhe v tvare šesťuholníka (čo je vodorovný rez ihlanu, pri konštantnej hodnote jasu V), nie po kružnici, čo by bolo prirodzenejšie. Tento nedostatok odstraňuje **HLS model**, kde je "šesťuholník nahradený kruhom".

Model HLS



Obr. 4 Model HLS

Názov modelu je odvodený z pojmov **farebný tón** (*Hue*), **svetlosť** (*Lightness*) a **sýtosť** (*Saturation*). Model HLS je odvodený z modelu HSV, v ktorom bol ihlan nahradený kužeľom, resp. dvojicou kužeľov. Farebný tón (H) je znova vyjadrený ako uhlová hodnota, svetlosť (L) sa mení od 0 (čierna v dolnom rohu) do 1 (biela v hornom vrchole). Sýtosť nadobúda na obvode kruhu (podstavy kužeľov) hodnotu 1 a klesá na 0 smerom k osi kužeľov. Najjasnejšie čisté farby majú teda súradnice $S = 1$ a $L = 0,5$ a ležia na obvode podstav kužeľov.

Tvar modelu HLS celkom zodpovedá skutočnosti, že najviac farieb vnímame pri priemernej svetlosti (oblasť podstav). Schopnosť rozlíšiť farby klesá pri veľkom stmavnutí a pri presvetlení (oblasti oboch vrcholov).

Modely HSV a HLS umožňujú postupne meniť farebné charakteristiky pri zachovaní ostatných typických vlastností farby. To je príjemné pre používateľov, ktorí chcú definovať farby pomocou prirodzených pojmov, ako je sýtosť, svetlosť a dominantná farba. Tieto farebné modely sú v súčasnosti už málo používané, sú vhodné pre vzorkovníky farieb, kde sú zobrazované rezy ihlanom, či kužeľom pre rôzne hodnoty H.

Prevod farby z priestoru HLS a HSV do priestoru RGB sa nedá vyjadriť jednoduchým vzorcom, ale má charakter algoritmu.