

Teória farieb

by Stanislav Stanek and Marek Zimanyi

Ciele:

- Prirodzené vlastnosti farieb a ich numerický popis
- Štandardy reprezentácie farieb
- Definícia a využitie farebných priestorov
- Popis rôznych metod na redukciu počtu farieb v obraze
- Metódy tvorby tabuliek farieb

Úvod

Tieňovacie modely obyčajne počítajú výslednú farbu využívajúc základné farby červenú (red), zelenú (green) a modrú (blue). Takýto spôsob je využiteľný a korešponduje s bežne používanými grafickými zariadeniami dnešnej doby, ktoré vytvárajú výslednú farbu miešaním týchto základných farieb (Red, Green, Blue – RGB).

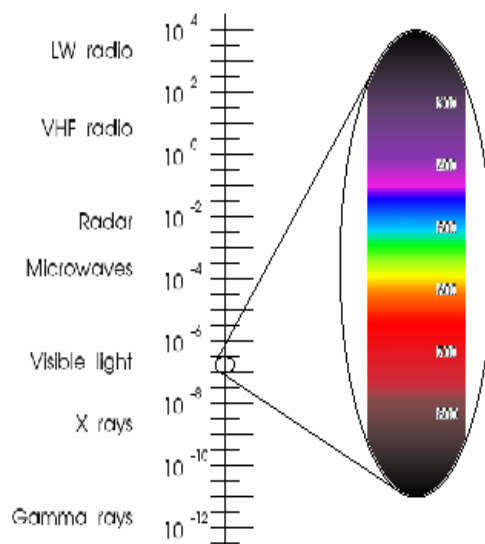
Teória farieb je však omnoho zložitejšia, pretože závisí od interakcie medzi fyzikálnymi vlastnosťami svetelnej radácie a zmyslovej sústavy zloženej z oka a mozgu človeka.

Pri vytváraní aplikácií počítačovej grafiky je potrebné poznať odpovede na nasledujúce otázky:

- Ako sú farby presne číselne popisované?
- Aký je vzťah medzi číselným popisom a popisom farby v každodennom živote?
- Ako sa porovnávajú farby?
- Aké farby je schopný CRT display alebo tlačiareň zobrazit'?
- Ako sa vytvárajú taul'ky farieb obsahujúce potrebné farby?
- Ako sa pracuje s paletou farieb keď zariadenie dokáže zobrazit' len obmedzený počet farieb?

Každá aplikácia potrebuje nástroje na popis a správu farieb.

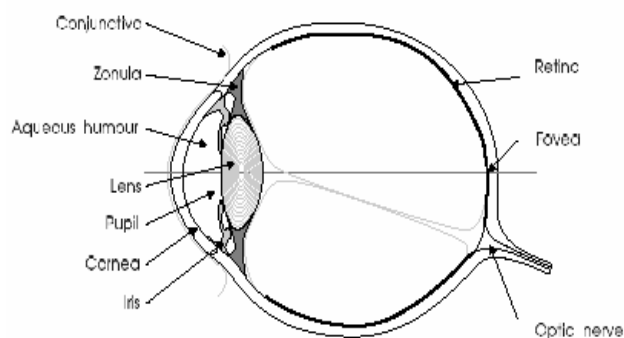
Svetlo je elektromagnetické vlnenie, tak ako televízne vlnenie, infračervená radiácia atď. Pod svetlom máme na mysli tie vlny elektromagenického vlnenia ktoré ležia v oblasti takzvaného viditeľného spektra t.j. ľudským okom viditeľne vlnenie. Sú to vlnové dĺžky približne od 400 nm až do 700 nm (nanometrov). (Vid' Obr. 1 na ktorom je znázornené elektromagnetické spektrum. Frekvencia vlnenia f sa zvyšuje smerom doprava a vlnová λ dĺžka naopak smerom doľava. $\lambda = v / f$, pričom v je rýchlosť svetla v skúmanom prostredí. Vo vákuu alebo vzduchu je $v = 300\,000$ km/sec)



Obr. 1 - Elektromagnetické spektrum

Oko

Svetlocitlivá membrána zvaná *retina* sa nachádza vo vnútri oka. Vid' Obr. 2. Retina je tvorená z dvoch svetlocitlivých receptorov – čapíkov a tyčínok. Tyčinky sú senzitívne na farbu. Sú rozdelené do troch skupín v závislosti od citlivosti na červenú, zelenú alebo modrú farbu. Preto sa popis farieb je trojdimenzionálny. (Vid' nasledujúcu kapitolu Popis farieb). Ľudské oko dokáže rozlíšiť približne 200 intenzít červenej, zelenej a modrej farby. Každé oko má 6 až 7 miliónov tyčínok sústredených v malej oblasti na retine oproti zreničke. Táto oblasť sa nazýva *fovea*. Každá tyčinka má svoju vlastnú nervovú bunku, čo umožňuje vidieť jemné detaily. Ak chceme vidieť objekt detailnejšie, je potrebné sa naň priamo pozrieť aby sa jeho obraz cez šošovku premietol priamo na foveu a tak sa preniesol vzruch z tyčínok do mozgu. Naproti tomu čapíky nerozlišujú farbu ani jemné detaily. Je ich od 75 do 150 miliónov a obklopujú foveu. Viac čapíkov je pripojených na jednu nervovú bunku, čo spôsobuje neschopnosť detailného videnia pomocou nich. Čapíky sú veľmi senzitívne na slabé svetlo a zaregistrujú objekty, ktoré tyčinky v šere alebo pri slabom osvetlení nezaregistrujú. Preto napríklad v noci pri slabom osvetlení je lepšie nepozerať sa priamo na pozorovaný objekt, pretože tak jeho obraz dopadne mimo foveu a bude zaregistrovaný čapíkmi. Farba o objekte nie je zaznamenaná no čapíky zaznamenajú približne jeho tvar a vzhľad. Periférne videnie teda používa čapíky.



Obr. 2 Štruktúra ľudského oka.

Niektoré zdroje svetla, ako napríklad laser, vyžarujú svetlo s jednou vlnovou dĺžkou. Takéto svetlo nazývame „čisté svetlo“. Ľudské oko zaznamenáva napríklad vlnovú dĺžku 400nm ako fialovú (violet) farbu a 620nm ako červenú (red) farbu. Všetky ostatné okom viditeľné vlnové dĺžky ležia medzi týmito dvomi extrémami. Na Obr. 3 sú znázornené niektoré čisté farby a ich spektrálne krivky intenzity.

Obr. 3 - Spektrum pre niektoré čisté farby

Svetlo vyžarované zo zdroja vo väčšine prípadov obsahuje žiarenie viacerých vlnových dĺžok. Spektrálna krivka intenzity pre takéto zdroje svetla sú znázornené na Obr. 4. Energia svetla sa vypočíta ako plocha pod spektrálnou krivkou. Meno farby je priradené ku každej krivke a zodpovedá farbe ktorú vnímame pri pohľade na dané svetlo. Biele svetlo obsahuje približne rovnakú intenzitu všetkých frekvencií. Nápodobne aj svetlo šedej farby, len s nižšou intenzitou. Červené svetlo obsahuje viacej frekvencií s veľkou vlnovou dĺžkou. Príklady na obrázku poukazujú na obtiažnosť numerického popisu farieb. Existencia veľkého množstva spektrálnych kriviek, pričom rôzne svetlá s rôznymi spektrálnymi krivkami sú vnímané ako svetlá rovnakej farby.

Obr. 4 – Príklady spektrálnych kriviek intenzít pre niektoré farby

Popis farieb

Predstavme si, že chceme napríklad popísať presne farbu cez telefón výrobcovi plagátu. Nestačí povedať, že farba má byť „oceánovo bledomodrá“. Popis musí byť presnejší aby výsledná farba bola rovnaká ako na prechádzajúcich plagatoch vytvorených iným výrobcom. Na obr. 3 sú znázornené rôzne farby a ich spektrálne krivky. Každú farbu môžeme popísať

takouto krivkou. Problém je ale taký, že rôzne spektrálne krivky reprezentujú vizuálne rovnakú farbu. Preto je vhodné definovať farbu nejakým iným spôsobom. Napríklad nejakým vektorom čísel. Experimentálne z vlastností receptorov v oku vyplýva že vnímanie farieb je trojdimenzionálne. Treba teda zdefinovať mapovanie farby na trojrozmerný vektor čísel a naopak.

Dominantná vlnová dĺžka

Jeden z jednoduchých popisov farby je založený na spektre definujúcom danú farbu. Predstavme si že spektrum vlnových dĺžok pre farbu je jednoducheho tvaru ako je na Obr. 5. Takéto spektrum je definované tromi číslami – dominantná frekvencia (hue), čistota (saturation) a jas (luminance) - HSL. Spektrum obsahuje maximum v dominantnej vlnovej dĺžke. Dominantná vlnová dĺžka tak definuje farbu respektíve farebný odtieň (hue). Jas farby je definovaný ako celková energia svetla. Vypočíta sa ako plocha pod spektrálnou krivkou. ($L = (D-A)B + AW$, D-definuje intenzitu dominantnej vlnovej dĺžky, A – intenzita bieleho svetla, B-interval dominantných frekvencií, W-interval všetkých frekvencií viditeľného svetla.) Čistota svetla je definovaná ako percentuálny pomer energie dominantnej frekvencie k celkovej energii svetla.

$$\text{čistota} = ((D-A) \cdot B / L) \cdot 100\%$$

Ak $D=A$ tak čistota = 0 a farba je vnímaná ako biele svetlo. Ak $A = 0$ tak farba neobsahuje biele svetlo a ide o čistú farbu dominantnej vlnovej dĺžky. Pastelové farby obsahujú biele svetlo. Ľudské oko dokáže rozlíšiť približne 128 rôznych farieb líšiacich sa iba v dominantnej frekvencii (hue).

Obr. 5 - Spektrum farby s dominantnou vlnovou dĺžkou

Notácia HSL je vhodná pre popis farby, ale je problematické pre danú farbu určiť respektíve namerať hodnoty jednotlivých veličín. Preto je potrebné najst' efektívnejší spôsob popisu farieb. Na začiatku je potrebné určiť spôsob testovania či dve farby sú rovnaké (Color Matching).

Color Matching

Farby sú často popisované porovnávaním s vytvorenou množinou štandardných farieb a vyhľadávaním najpodobnejšej z nich. Vzniklo veľa takýchto množín so štandardne definovanými farbami a sú využívané vo farbiarenskom a tlačiarenskom priemysle. Jedným

z možných spôsobov určovania farby je porovnanie s kombináciou existujúcich testovacích svetiel ako je znázornené na Obr. 6.

Obr. 6 - Color Matching- Určovanie farby pomocou kombinácie existujúcich svetiel

Daná farba so spektrálnou krivkou $S(\lambda)$ sa premietne na jednu časť obrazovky pričom na druhú časť sa premietne kombinácia troch daných testovacích svetiel so spektrálnymi krivkami $A(\lambda)$, $B(\lambda)$, $C(\lambda)$. Pozorovateľ mení intenzitu testovacích svetiel pomocou koeficientov intenzít (a,b,c) až pokiaľ vzniknutá farba je vizuálne rovnaká s danou farbou. T.j. $T(\lambda) = a.A(\lambda) + b.B(\lambda) + c.C(\lambda)$. Pričom spektrálne krivky $S(\lambda)$ a $T(\lambda)$ môžu byť celkom rozdielne. Takto definovaná farba môže byť chápaná ako „súčet“ koeficientov intenzít a, b a c . Definujme algebru nad farbami nasledovne:

Predpokladajme, že spektrálne krivky $S(\lambda)$ a $P(\lambda)$ definujú vizuálne rovnakú farbu. Toto zapisujeme $S = P$. Pridajme tretiu farbu N , so spektrálnou krivkou $N(\lambda)$, k obidvom farbám. Je experimentálne dokázané že aj novovzniknuté farby definujú rovnakú farbu. Symbol $=$ teda definuje vizuálne nerozlišiteľné farby. Pre symbol $+$ platí, že $S + N$ definujú farbu ktorá vznikne spojením spektier $S(\lambda)$ a $N(\lambda)$.

t.j. Ak $(S = P)$ potom $(N + S = N + P)$.

Obdobne dospejeme k záveru, že ak $(S = P)$ potom $a.S = a.P$, pričom a je skalár. Takto dospejeme k lineárnej kombinácii farieb:

$$T = a.A + b.B.$$

Takto môžeme teda zdefinovať vektorovú algebru farieb. Vektory reprezentujú farbu.

Ako bolo spomenuté pri štruktúre ľudského oka, tak vnímanie farieb je trojdimenzionálne. To znamená, že každá farba môže byť vytvorená kombináciou troch základných farieb. Označme si základné farby R, G a B , potom pre farbu C platí:

$$C = r.R + g.G + b.B, \text{ pri}$$

Pričom koeficienty r, g a b definujú intenzitu základných farieb obsiahnutých vo farbe C . Dôvodom prečo za základné farby boli zvolené červená (R), zelená (G) a modrá (B) je citlivosť tyčínok práve na tieto tri farby. Za základné farby však môžu byť zvolené ľubovoľné tri farby pre ktoré platí, že žiadna z nich nie je lineárnou kombináciou zvyšných dvoch.

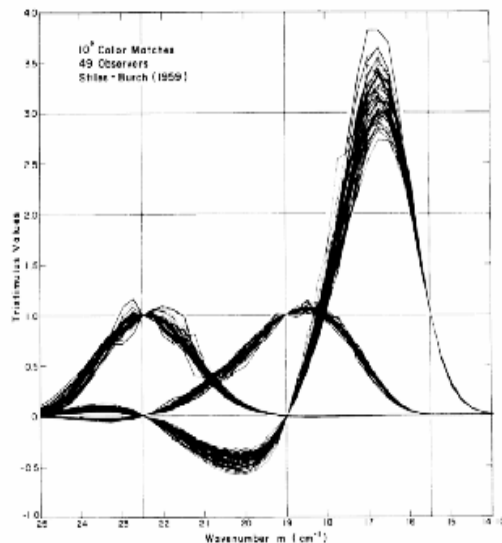
Takto teda môžeme pomocou základných troch farieb definovať priestor farieb, pričom každá farba je reprezentovaná bodom (r,g,b) v tomto priestore. Bod $(0,1,0)$ reprezentuje čisto zelenú a $(0.2,0.3,0.5)$ žltú atď. Keď zdvojnásobíme každý koeficient tak získame tú istú farbu ale dvakrát jasnejšiu.

Experimentálne sa pomocou kombinácie troch základných farieb R,G,B hľadali spektrálne čisté farby t.j. farby, ktoré majú dominantnú vlnovú dĺžku a energia je sústredená v oblasti

tejto dominantnej vlnovej dĺžky (monochromatické). Obr. 7 zobrazuje výsledné krivky koeficientov experimentálne zistené veľkým množstvom pozorovateľov. Pri experimente boli použité čisté monochromatické farby červená, zelená a modrá s vlnovými dĺžkami 700 nm, 546 nm a 436 nm. Funkcie $r(\lambda)$, $g(\lambda)$ a $b(\lambda)$ teda zázorňujú aké množstvo svetiel R, G a B je potrebné na získanie čistej monochromatickej farby s dominantnou vlnovou dĺžkou λ .

$$\text{mono}(\lambda) = r(\lambda) \cdot R + g(\lambda) \cdot G + b(\lambda) \cdot B \quad (1)$$

Napríklad čisto oranžová farba s dominantnou vlnovou dĺžkou $\lambda = 600\text{nm}$, pre pozorovateľov zodpovedá kombinácii $0.37R + 0.08G$. Obyčajne spektrum oranžového svetla nie je rovnaké so spektrom svetla vzniknutého touto kombináciou (súčtom), ale obidve svetlá vizuálne vyzerajú rovnako.



Obr. 7 - Funkcie koeficientov pri vytárani čistých farieb

Z obrázku vidno, že pre niektoré farby musí byť niektorý s koeficientov záporný aby bola zachovaná platnosť rovnice (1). Tak napríklad pre $\lambda = 520$ je $r(\lambda)$ záporné.

$$C = 0.7R + 0.5G - 0.2B$$

V praxi však nie je možné svetlo, ktoré sa tam nenachádza, odstrániť. Toto vyriešime keď rovnicu prepíšeme od tvaru:

$$C + 0.2B = 0.7R + 0.5G$$

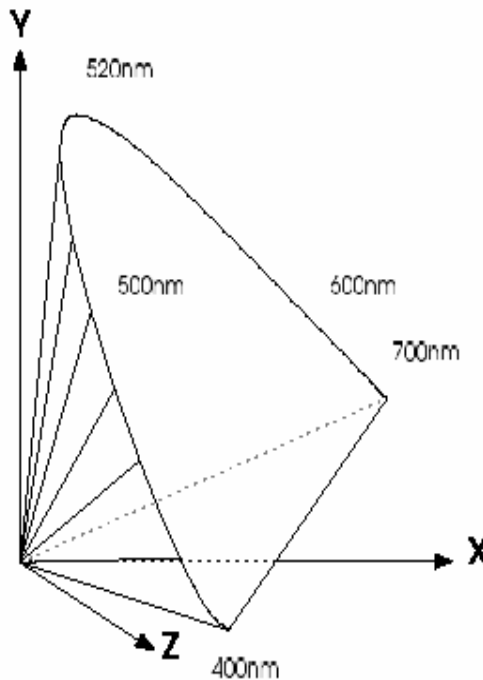
Z toho vyplýva, že farbu C nie je možné vytvoriť lineárnou kombináciou s kladnými koeficientami pre základné farby. Farbu $C + 0.2B$ však takto vytvoriť vieme. Niektoré farby teda je možné vytvoriť pomocou kladných koeficientov, no niektoré nie. Jednoducho povedané takýmto skladaním vznikajú menejčisté farby, pričom je nemožné vytvoriť čistejšiu farbu.

Je užitočné definovať funkcie $\mathbf{r}(\lambda)$, $\mathbf{g}(\lambda)$ a $\mathbf{b}(\lambda)$ pre ktoré platí:

$$\mathbf{r}(\lambda) = r(\lambda) / s(\lambda), \quad \mathbf{g}(\lambda) = g(\lambda) / s(\lambda), \quad \mathbf{b}(\lambda) = b(\lambda) / s(\lambda), \quad \text{pričom } s(\lambda) = (r(\lambda) + g(\lambda) + b(\lambda))$$

Preto $\mathbf{r}(\lambda) + \mathbf{g}(\lambda) + \mathbf{b}(\lambda) = 1$. Tieto funkcie dávajú hodnoty koeficientov pre každú základnú farbu potrebné na vytvorenie svetla s dominantnou vlnovou dĺžkou λ a jednotkovým jasom. Farbu s jednotkovým jasom preto môžeme definovať dvojicou $(\mathbf{r}(\lambda), \mathbf{g}(\lambda))$, pretože

$\mathbf{b}(\lambda)$ si dokážeme dopočítať ($\mathbf{b}(\lambda) = 1 - \mathbf{r}(\lambda) - \mathbf{g}(\lambda)$). Zobrazením takto vzniknutých bodov dostávame krivku definujúcu farby s čitým spektrom, pričom z normalizácie vyplýva že táto krivka leží v jednej rovine. Situácia je znázornená na Obr. 8.



Obr. 8 - Krivka farieb s čistým spektrom a normalizovaná rovina

Všimnite si, že kôli zápornosti niektorých koeficientov pre niektoré farby je krivka čiastočne mimo kladneho oktantu v priestore. Pre niektoré štandardy, ktoré ďalej popíšeme ostáva spomínaná krivka v kladnom oktante.

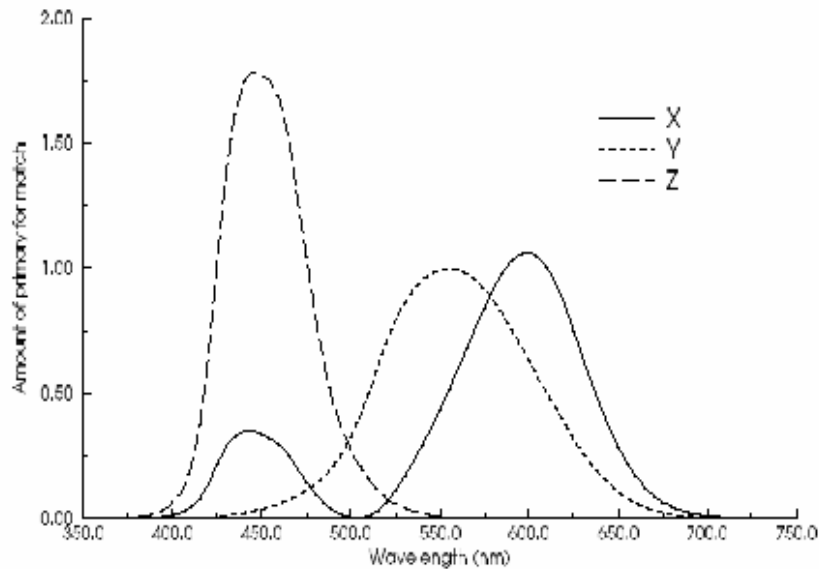
Medzinárodná komisia pre štandardy osvetľovanie

Ako môžeme farby špecifikovať, pričom všetci budú súhlasiť s takou špecifikáciou? Pretože vnímanie farieb je trojdimenzionálne, potrebujeme sa dohodnúť na troch základných farbách a popísať ktorúkoľvek farbu trojicou koeficientov. Ktoré základné farby však použiť? Nanešťastie ľubovoľná trojica základných farieb si vyžaduje pre niektoré základné farby záporné koeficienty. S cieľom obísť túto nepríjemnosť bol v roku 1931 vytvorený štandard medzinárodnou komisiou pre štandardy osvetlenia (International Commission on Illumination – Commission Internationale de l'Éclairage - CIE). Komisia vytvorila superčisté základné farby X, Y a Z ktoré nekorešpondujú s existujúcimi reálnymi farbami, ale majú vlastnosť že všetky realne farby môžu byť vytvorené ich lineárnou kombináciou s kladnými koeficientami. Tieto základné farby sú definované podobne ako na Obr. 7 - Funkcie koeficientov pri vytváraní čistých farieb. Na Obr. 9 sú znázornené funkcie koeficientov pre základné farby vytvorené podľa CIE. Myšlienka je úplne rovnaká ako pri rovnici (1). Monochromatické svetlo s vlnovou dĺžkou λ je vizuálne rovnaké ako svetlo ktoré vnikne lineárnou kombináciou farieb X, Y, a Z s koeficientami určenými ich funkčnými krivkami.

$$\text{mono}(\lambda) = x(\lambda).X + y(\lambda).Y + z(\lambda).Z$$

Všimnite si, že všetky koeficienty sú kladné pre ľubovoľné λ , takže $\text{mono}(\lambda)$ je vždy kladná lineárna kombinácia základných farieb X, Y a Z.

Ako boli farby X, Y a Z získané? Boli definované aplikovaním affinnej transformácie na funkcie koeficientov $r(\lambda)$, $g(\lambda)$ a $b(\lambda)$ v rovnici (1). Funkcia $x(\lambda)$ je počasiach lineárnou kombináciou funkcií r, g a b . Taktiež aj funkcie $y(\lambda)$ a $z(\lambda)$. Funkcia $y(\lambda)$ bola zvolená tak aby mala rovnaký tvar ako funkcia definovaná citlivosťou oka na monochromatické svetlo rovnakej intenzity ale rôznej vlnovej dĺžky.



Obr. 9 – Funkcie koeficientov pri vytváraní čistých farieb základnými farbami X,Y a Z

Z praktického hľadiska bolo vhodné aby sme použili normalizované vyjadrenie farebného modelu. Preto použijeme zobrazenie v xy rovine: $z(\lambda) = 1 - (x(\lambda) + y(\lambda))$.

Táto transformácii zanedbáva jas farby.

$$x(\lambda) = X(\lambda) / (X(\lambda) + Y(\lambda) + Z(\lambda));$$

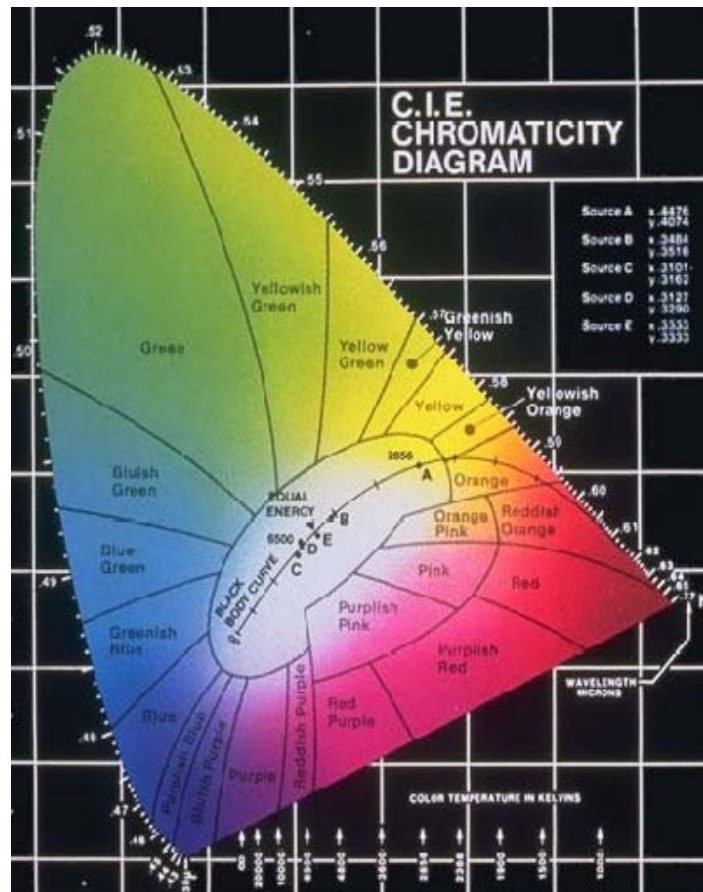
$$y(\lambda) = Y(\lambda) / (X(\lambda) + Y(\lambda) + Z(\lambda));$$

$$z(\lambda) = Z(\lambda) / (X(\lambda) + Y(\lambda) + Z(\lambda))$$

Konstrúcia a použitie CIE diagramu.

Spektrálne farby $s(\lambda)$ ležia v 3D priestore, ale pretože ležia na rovine $x+y+z = 1$, ľahko ich môžeme previesť do 2D.

CIE chromatický diagram je krivka $s'(\lambda) = (x(\lambda), y(\lambda))$ ako vidno na obrázku 10.



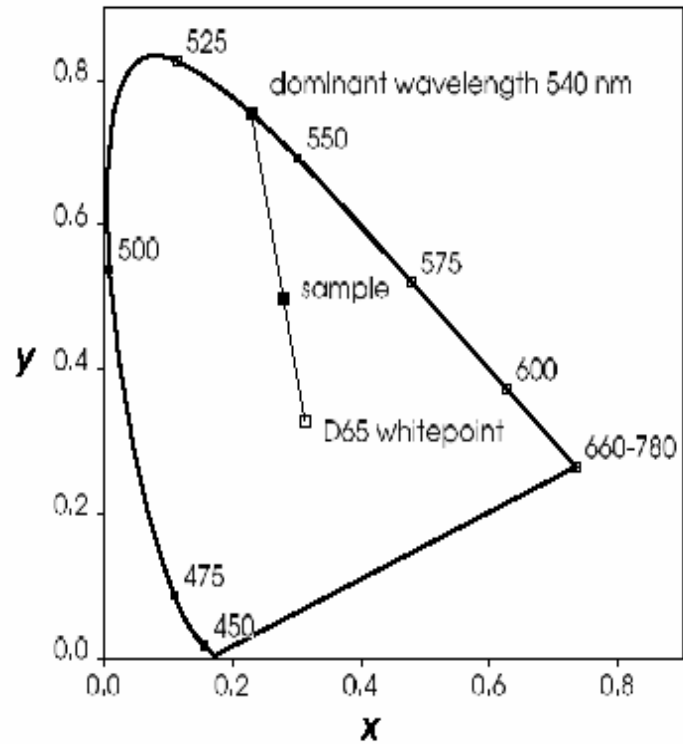
Obr. 10 – CIE chromatic diagram

Základne vlastnosti CIE diagramu:

- Zobrazovanie vzájomného vzťahu farieb
- Určenie dominantnej vlnovej dĺžky d
- Čistota = $d1/d$
- Doplnkové farby – zložením vznikne W

Miešanie farieb:

- primárne farby vo vrcholoch trojuholníka
- Plocha trojuholníka definuje množinu možných farieb
- Použitie 4 a viac primárnych farieb

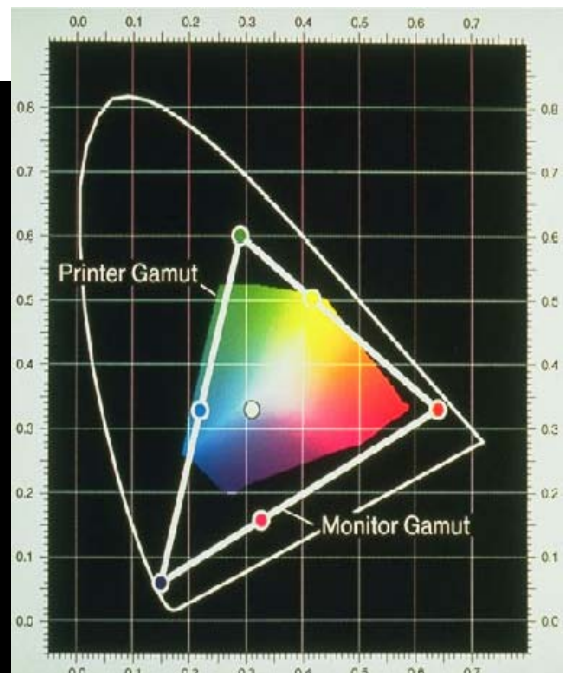
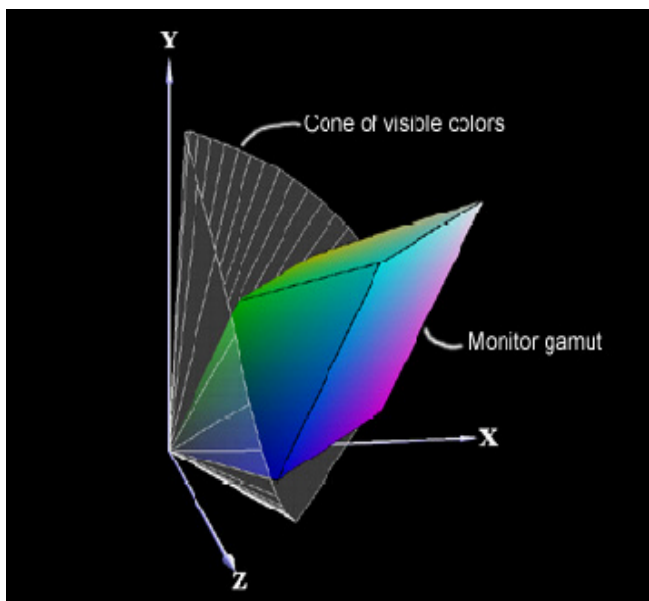


Obr. 11 – Vlastnosti CIE chromatickeho diagramu

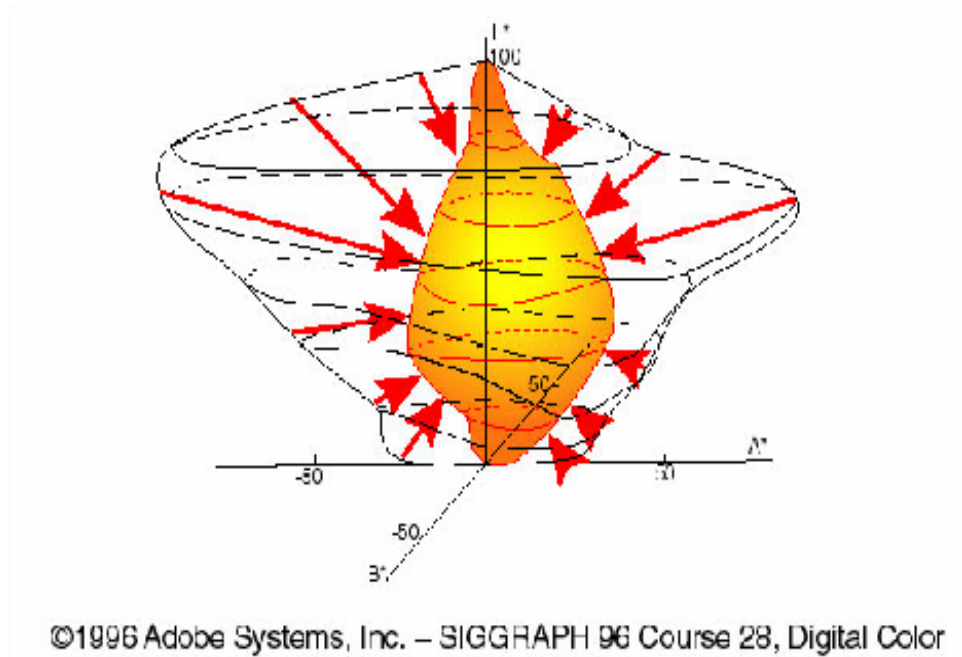
Gamut

Farebný model je špecifický pre daný HW, a preto neprenositel'ný.

Gamut - Množina farieb zobrazitel'ná daným zariadením



Prispôsobenie gamutu jedného zariadenie druhému
Cieľom je rovnaký vzhľad.
Monitor => tlačiareň,
farebný priestor CIELAB



Farebne modely

Farba v grafike - vlastnosť nejakého objektu (jeden z atribútov objektu)

Reprezentácia farieb

- v dvoch bytoch (3x5 bitoch) - *high color*
- v troch bytoch - *true color*

Na určenie farieb existuje viacero farebných atlasov. Najznámejší je Munsellov atlas, ktorý obsahuje farby zoradené podľa tónu farby, čistoty farby a jasú. Pri rozklade bieleho svetla na farebné zložky (napr. pomocou hranola), rozoznávame čisté farby od modrej až po červenú.

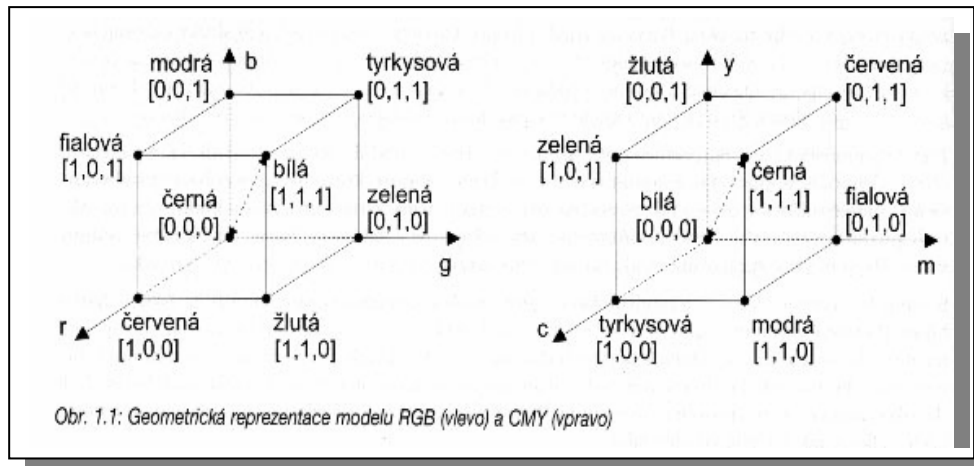
Rozlišujeme 6 základných oblastí farieb :

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 modely. Pri použití modrozelennej, fialovej a žltej o substraktívnom CMY modely.

Farebné modely RGB(A) a CMY

Farebné modely RGB a CMY



$$\text{vzťah medzi RGB a CMY} \begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

RGB

aditívne skladanie farieb: čím viac farieb zložíme, tým výsledok svetlejší.

RGBA- α kanál, informácia o priehľadnosti, akým pomerom sa farba mieša s pozadím.
Používa sa napríklad v OpenGL

CMY

Miešanie farieb maliarom ...

Subtraktívne skladanie

RGB je vhodné pre displeje, pre človeka je vhodnejší tento ... CMY.

- pridávaním pigmentu tvorí tmavšiu farbu.
- Subtraktívne skladanie farieb

CMYK

pri tlači sa tri segmenty (cmy) nesmú úplne prekryvať, a tak sú tesne vedľa seba

- ⇒ a preto nevznikne čisto čierna, ale špinavo hnedá
- ⇒ čierna sa tlačí samostatne
- ⇒ CMYK (K, black)
- ⇒ Diapozitívy, fotografie, tlač

Veľkosť čiernej zložky pre daný bod získame ako minimálnu hodnotu zložiek c , m , y , ktoré potom znížime o k .

CMYK separácia:

red = magenta + yellow

green = yellow + cyan

blue = cyan + magenta

Čierna kvôli kontrastu.

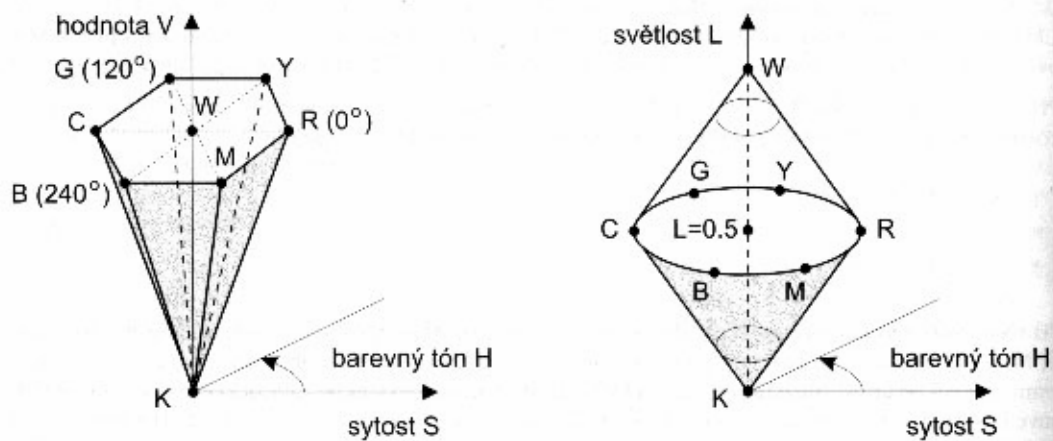
Silne HW závislé

Veľmi komplikovaný model.

Tieto modely sú trochu ťažšie náročné na predstavivosť => vznik človeku intuitívnejších modelov

Farebné modely HSV a HLS

aditívne skladanie farieb (podobne ako RGB)



Obr. 1.2: Geometrická reprezentácia modelu HSV (vľavo) a HLS (vpravo)

H - hue - farebný tón

S - saturation - sýtosť

V - value - jasová hodnota

L - lightness - svetlosť

Vlastnosti:

Farebný tón - atribút, pomocou ktorého ľahšie rozlišujeme napr. červenú farbu od modrej.

Sýtosť - "čistota" farby. Monochromatické svetlo obsahuje veľmi čisté spektrálne zložky, preto sa aj hovorí, že je sýte.

Jasová hodnota - miera rozoznávania svetlej farby od tmavej

HSV

- Hue, Saturation, Value
- Polárna forma RGB modelu
- Rovnaká HW závislosť

HLS:

- Hue, Lightness, Saturation
- Iná polárna forma RGB modelu
- Rovnaká HW závislosť

Prevod RGB – HSV

- Priemetňa kolmá na os WB => šesťuholník
- Pravidla:
 - Veľkosť najväčšej zo súradníc r, g, b je zhodná s hodnotou v
 - Na hranách rezu ma aspoň jedna hodnota z r, g, b hodnotu 0 -> pre HSV platí $s=1$
 - Pri zmene s sa menia len dve menšie zložky z r, g, b
 - Pomer rozdielov menších zložiek a max je pri zmene s konštantný

Algoritmus:

```
RGB_2_HLS(RGBcolor rgb, HLSColor& hls)
{
    double mx, mn;
    RGBColor tmp;

    mx = MAX(rgb.r, rgb.g, rgb.b);
    mn = MIN(rgb.r, rgb.g, rgb.b);

    // compute lightness
    hls.l = (mx + mn) / 2.0
    if(mx == mn)
        hls.s = 0.0; // color is gray
    else{
        if( hls.l <= 0.5 )
            hls.s = (mx - mn) / (mx + mn);
        else
            hls.s = (mx - mn) / (2 - mx + mn);
        // compute hue
        tmp.r = (mx - rgb.r) / (mx - mn);
        tmp.g = (mx - rgb.g) / (mx - mn);
        tmp.b = (mx - rgb.b) / (mx - mn);
        if ( rgb.r == mx )
            hls.h = tmp.b -tmp.g;
        else if (rgb.g == mx)
            hls.h = 2 + tmp.r -tmp.b;
        else if (rgb.b == mx)
            hls.h = 4 + tmp.g -tmp.r;
        hls.h *= 60;
        if(hls.h < 0.0)
            hls.h += 360;
    }
}
```

```

RGB_2_HSV(RGBcolor rgb, HSVColor& hsv)
{
    double mx, mn;
    RGBColor tmp;

    mx = MAX(rgb.r, rgb.g, rgb.b);
    mn = MIN(rgb.r, rgb.g, rgb.b);

    // compute value
    hsv.v = mx
    if( mx != 0)
        hsv.s = (mx - mn)/mx;
    else
        hsv.s = 0.0;
    if(hsv.s == 0.0)
        hsv.h = 0.0; // no huge
    else{
        // compute hue
        tmp.r = (rgb.r) / (mx - mn);
        tmp.g = (rgb.g) / (mx - mn);
        tmp.b = (rgb.b) / (mx - mn);
        if ( rgb.r == mx )
            hsv.h = tmp.g -tmp.b;
        else if (rgb.g == mx)
            hsv.h = 2 + tmp.b -tmp.r;
        else if (rgb.b == mx)
            hsv.h = 4 + tmp.r -tmp.g;
        hsv.h *= 60;
        if(hsv.h < 0.0)
            hsv.h += 360;
    }
}

```