

Farba a priestory farieb

Vnímanie farby je veľmi subjektívne, líši sa od človeka k človeku a silne závisí od osvetlenia (bez svetla niet farby). Preto nie je možné objektívne definovať farebný vnem.

„Priemerný človek“ vníma farby vo viditeľnom spektre nasledovne

1. *Červená* (cca 625 až 780 nm) a *oranžová* (cca 590 až 625 nm) sú vo viditeľnom spektre tvorené dlhými vlnami;
2. *Žltá* (cca 565 až 590 nm) *zelená* (cca 500 až 565 nm) a *tyrkysová* (Cyan; cca 485 až 500 nm) sú v strednej časti viditeľného spektra;
3. *Modrá* (cca 440 až 485 nm) s krátkymi vlnovými dĺžkami;
4. *Fialová* (cca 380 až 440 nm) s veľmi krátkymi vlnovými dĺžkami v rámci viditeľného spektra.

Z hľadiska zmiešavania farieb sú definované dve trojice farieb. Subtraktívne primárne farby (CMY - Cyan, Magenta, Yellow), ktoré absorbujú určité vlnové dĺžky a aditívne primárne farby (RGB - Red, Green, Blue). Zmiešavanie aditívnych farieb sa nevytvára zmiešavaním vlnových dĺžok ale súvisí s fyziológiou ľudského vizuálneho systému.

Fotoreceptory na sietnici oka, ktoré sú citlivé na farebné svetlo sú troch druhov, a to receptory citlivé na červenú (cca 64% všetkých receptorov), zelenú (cca 32% všetkých receptorov) modrú (cca 4% všetkých receptorov). Odtiaľ zrejme pochádza voľba troch primárnych aditívnych farieb.

Ľudské vnímanie farieb funguje na princípe integrátora. Ak označíme $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ funkcie odozvy jednotlivých receptorov a $L(\lambda)$ je distribúcia energie vo viditeľnom spektre nejakého zdroja svetla, potom hodnoty RGB sa určia

$$R = \int_{\Lambda} L(\lambda)r(\lambda)d\lambda$$

a podobne pre G a B .

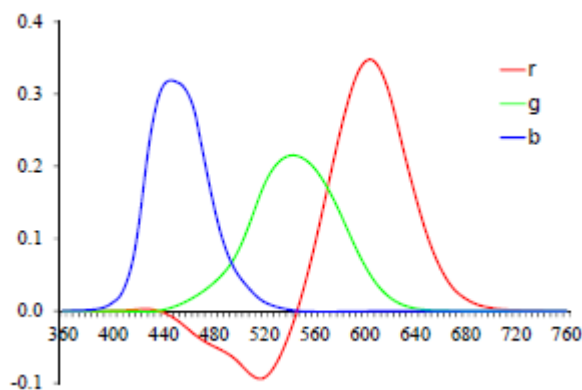
V 30. rokoch 20. storočia Commision Internationale d'Eclairage (CIE - Medzinárodná komisia pre osvetľovanie) experimentovala s reprodukováním čistých spektrálnych farieb ako kombinácie troch vhodne zvolených primárnych farieb. Tieto primárne farby boli zvolené nasledovne: Červená (700 nm), zelená (546,1 nm) a modrá (435,8 nm). Experiment prebiehal tak, že subjektu bola premietnutá farba určitej vlnovej dĺžky a jeho úlohou bolo nastavením hodnôt intenzít červenej, zelenej a modrej získať farbu predlohy (obr. 1).

Zvláštnosťou v uvedenom grafe sú negatívne hodnoty intenzít červenej pre určité časti spektra. Tieto vznikli tak, že príslušné farby spektra nebolo možné dostať kombináciou zvolených troch. Preto aby sa dosiahla zhoda s predlohou, k farbe predlohy sa pridala červená farba. Toto okrem iného vysvetľuje existenciu *metamérov*, t.j. farieb, ktoré majú rôzne farebné spektrá ale vnímame ich ako rovnakú farbu.

Problém s „negatívnym svetlom“ vyriešili v CIE vytvorením priestoru farieb s názvom XYZ. Vznikne lineárnou transformáciou RGB trojice

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \frac{1}{0,17697} \begin{pmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,20 \\ 0,19697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00 & 0,01 & 0,99 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Výsledok po transformácii je zobrazený na obr. 2.



Obr. 1: Výsledky experimentu kombinovania primárnych farieb. Priemer viacerých testovaní. Szaliski: Computer Vision: Algorithms and Applications.

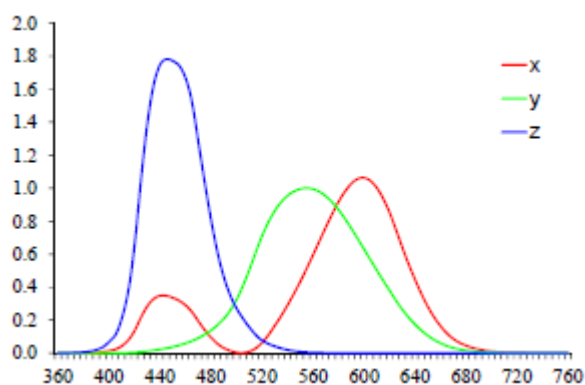
V praxi sa často vynecháva vedúci zlomok. Vtedy sa RGB trojica (1,1,1) zobrazí na $Y = 1$. V opačnom prípade hodnota $Y=1$ zodpovedá čisto červenej farbe.

Normalizáciou X , Y , Z hodnôt dostávame

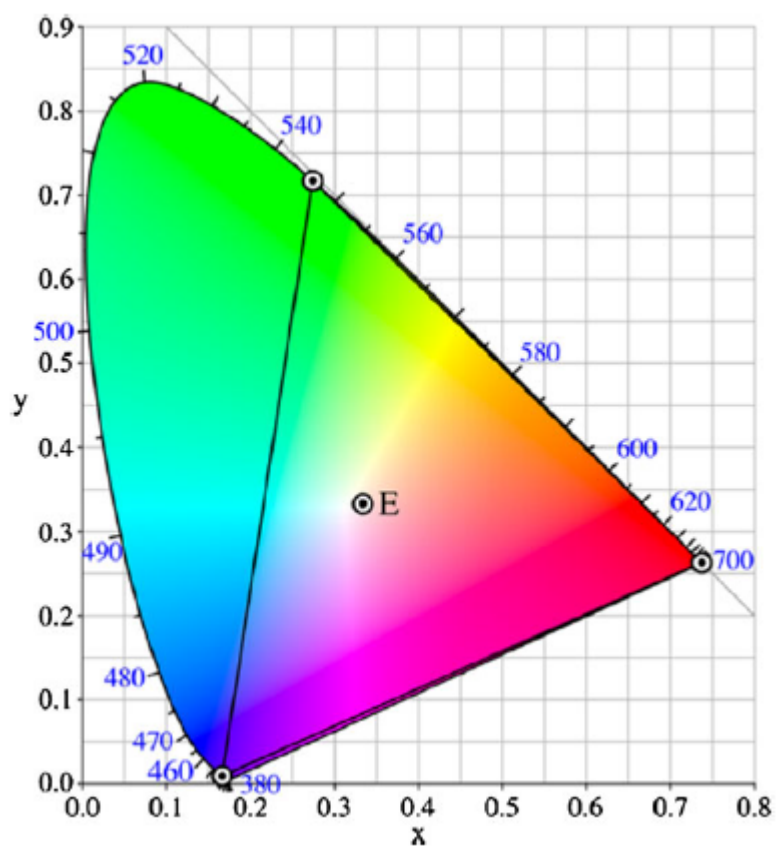
$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}.$$

Keďže $x + y + z = 1$ stačia nám len hodnoty x a y . Trojicu (x, y, z) nazývame chromatické súradnice. Tieto kódujú len čisté farby bez vplyvu jasú.

Obrázok 3 je tzv. chromatický diagram. Zobrazuje farby v súradniciach (x, y) . Časť hranice oblasti viditeľných farieb, ktorá tvorí oblúk je tvorená čistými spektrálnymi farbami. Zvyšná časť hranice je tvorená fialovou úseč-



Obr. 2: Primárne farby po transformácii do XYZ. Szeliski: Computer Vision: Algorithms and Applications.



Obr. 3: Chromatický diagram. R. Klette: Concise Computer Vision.

kou. Diagram zobrazuje gamut ľudského videnia.

Gamut označuje dostupný rozsah farieb. Rôzne zariadenia môžu mať rôzny gamut, a teda daný obraz nemusí na rôznych zariadeniach vyzeráť rovnako.

Úrovne šedej

Úrovne šedej sa opisujú pomocou svietivosti alebo jasú, preto ich nepovažujeme za farby. Človek vníma pomery intenzít úrovni šedej



Obr. 4: Štvorce majú rovnakú úroveň šedej. R. Klette: Concise Computer Vision.

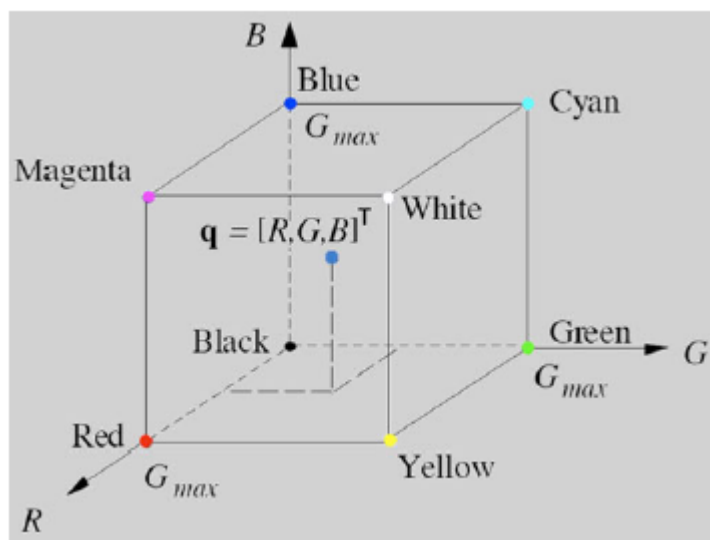
Priestory farieb

Asi najznámejší priestor farieb je RGB. Geometricky je ho možné reprezentovať ako kocku (obr. 5). Môžeme si všimnúť, že primárne subtraktívne a aditívne farby sú v rohoch kocky. Farba je určená trojicou čísel (R, G, B) . Každé z týchto čísel reprezentuje jeden farebný kanál. Počet úrovni intenzít v každom kanáli je zvyčajne $G_{max} = 255$ čo umožňuje vytvoriť cca 16,7 milióna farieb a 256 odtieňov šedej ktoré sú reprezentované trojicami (t, t, t) , $0 \leq t \leq G_{max}$.

Nevýhodou RGB priestoru je problém nájsť trojicu (R, G, B) ktorá reprezentuje danú farbu.

HSI

Priestor HSI (Hue - odtieň, Saturation - sýtosť, Intensity - intenzita) niekedy tiež HSL (Hue, Saturation, Lightness) vznikne ako priestor prienikov RGB kocky s rovinami kolmými na šedotónovú diagonálu. Tieto rezy (ktoré sú



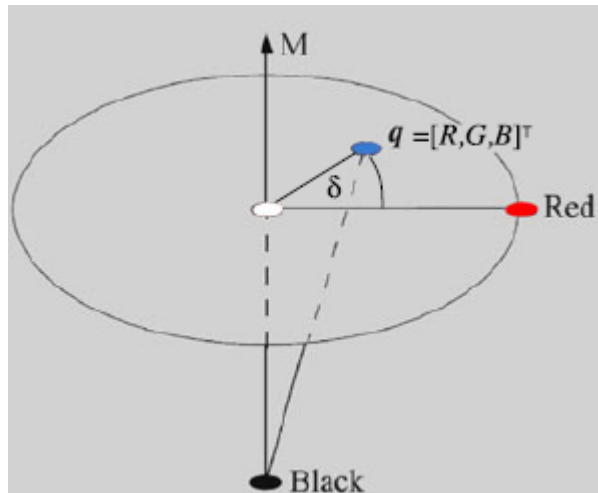
Obr. 5: RGB kocka. R. Klette: Concise Computer Vision.

jednoduché mnohoholníky) sa zvyčajne transformujú na kruhy, čím vznikne valcová reprezentácia priestoru HSI.



Obr. 6: Rez RGB kockou. R. Klette: Concise Computer Vision.

Ako referenčná farba sa zvolí červená. Každá farba $q = (R, G, B)$ v HSI modeli je určená intenzitou $\frac{R+G+B}{3}$ uhlom H a vzdialenosťou S od šedotónovej



Obr. 7: Valcová reprezentácia HSV. R. Klette: Concise Computer Vision.

diagonály. Pre tento model je prechod od RGB k HSI určený nasledovne

$$H = \begin{cases} \delta & \text{if } B \leq G \\ 2\pi - \delta & \text{if } B > G \end{cases} \quad \text{where}$$

$$\delta = \arccos \frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \quad \text{in}[0, \pi)$$

$$S = 1 - 3 \frac{\min\{R, G, B\}}{R + G + B}$$

Spätná transformácia je jednoznačná pre všetky farby. Pre odtiene šedej nie je definované H , pre čiernu ani S ale toto sú jediné výnimky.

Priestor HSV je podobný priestoru HSI tým, že má tiež valcovú reprezentáciu. Rozdiel je v rozmiestnení farieb. Kým HSI prechádza od čiernej k saturevaným farbám až po bielu (I od 0 po 255), HSV prechádza od čiernej k saturevaným farbám a biela je na pozícii $(H, S, V) = (0, 0, 255)$.

Ďalšie priestory farieb sú napríklad $L^*a^*b^*$, $YCbCr$, YUV .