

Přednáška kurzu BPC-ZVS

Barevné modely

P. Petyovský (email: petyovsky@feec.vutbr.cz) ,
kancelář SD3.152, tel. 6434, Technická 12, VUT v Brně

(rev. 2021.11)

Barvy v počítačové grafice – Barevné modely

Aditivní modely RGB, RGBA

Substraktivní modely CMY, CMYK

Intuitivní modely HSV, HLS

Modely pro televizní a videotechniku YUV

Chromatický diagram XYZ

Další barevné modely

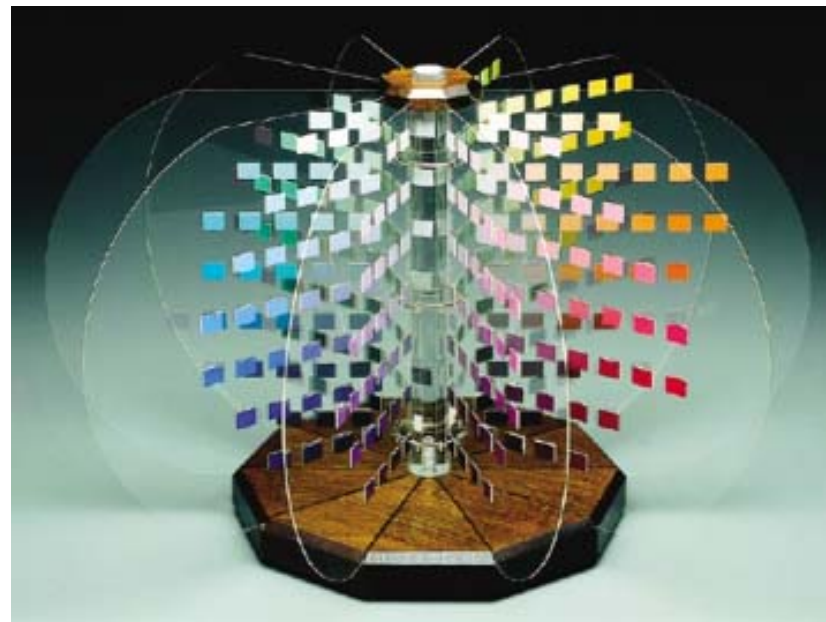
Barvy v počítačové grafice – Barevné modely

Fyzikální pohled:

Maximální rozsah viditelného záření pro lidské oko: 380nm – 780nm

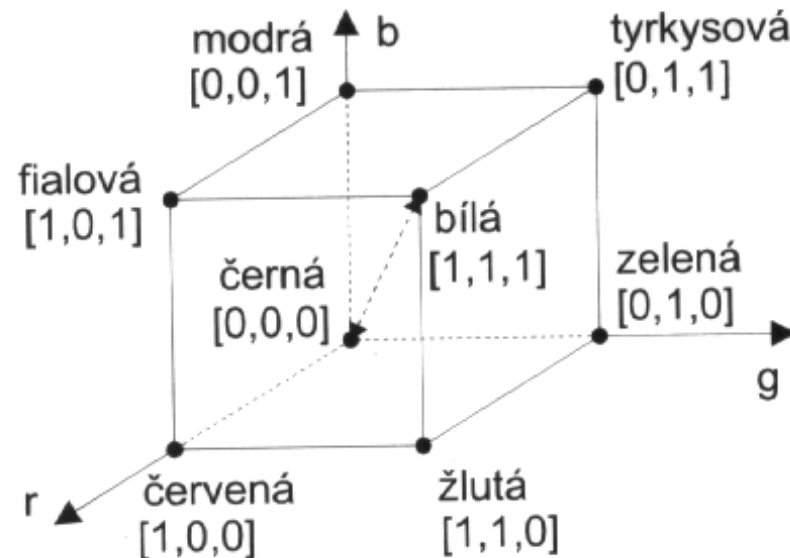


Praktický pohled:



Aditivní modely RGB, RGBA

Barevné členitele: Red (630 nm), Green (530 nm), Blue (450 nm).



Red, Green, Blue, Alpha

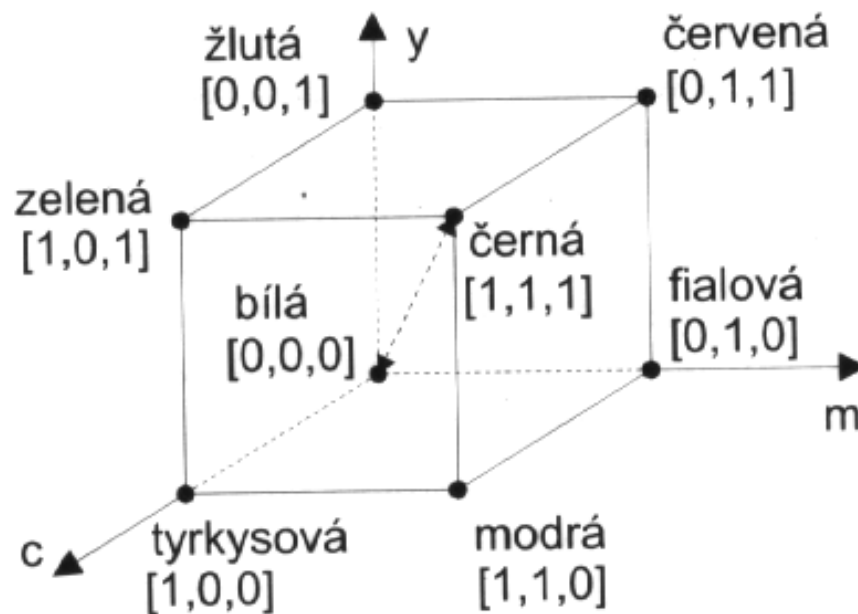
Čtvrtý členitel **A** (α - kanál) funkce průhlednosti pixelu při skládání několika objektů v obraze. Pojem RGBA tedy neznamená změnu barevného modelu, ale pouze přidání další informace. Složka A se nejčastěji ukládá do rozsahu jednoho bajtu.

Koeficient průhlednosti α můžeme chápat ve dvou významech:

- pixel je zcela pokryt barvou RGB, která má průhlednost α ,
- pixel je z α procent pokryt neprůhlednou barvou RGB (využíváno pro vyhlazování hran objektů).

Substraktivní modely CMY, CMYK

Cyan, Magenta, Yellow – Barevné pigmenty



$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Cyan, Magenta, Yellow, blackK.

Podmínka, že tiskové barvy nesmí být dokonale krycí, vedla v důsledku k nutnosti zavedení dodatkové BLACK K barvy. Hodnota této dodatkové barvy (K) a následně upravené hodnoty C' , M' , Y' se určují dle vztahů.

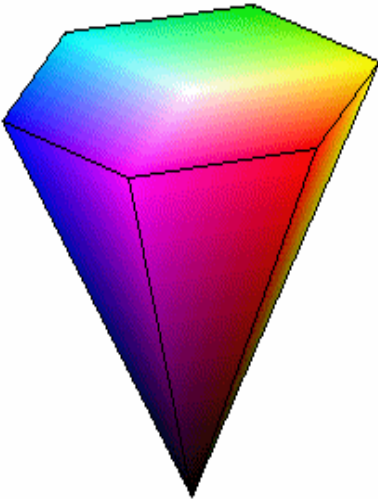
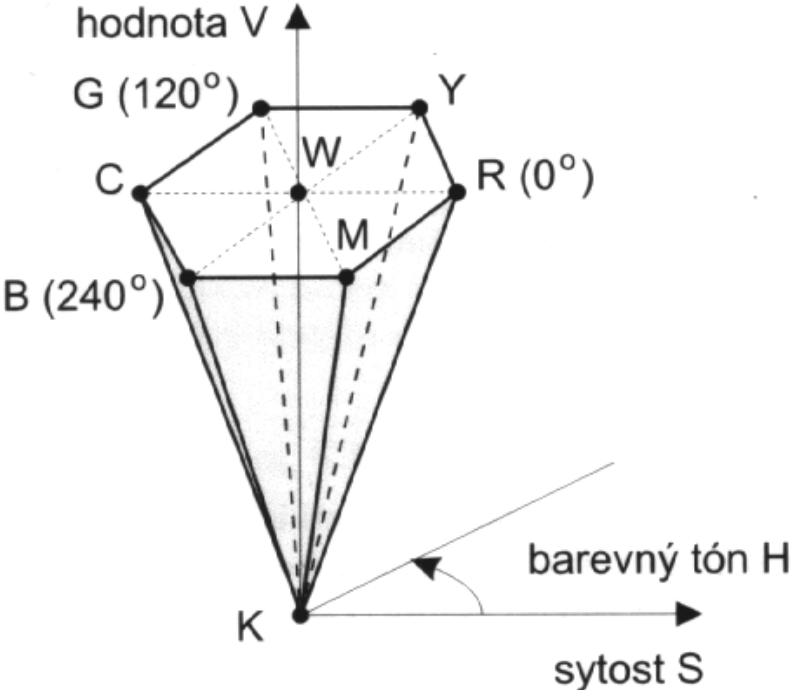
$$K = \min(C, M, Y)$$

$$\begin{bmatrix} C' \\ M' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K \\ K \\ K \end{bmatrix}$$

Intuitivní modely HSV, HLS

Barevný model H,S,V

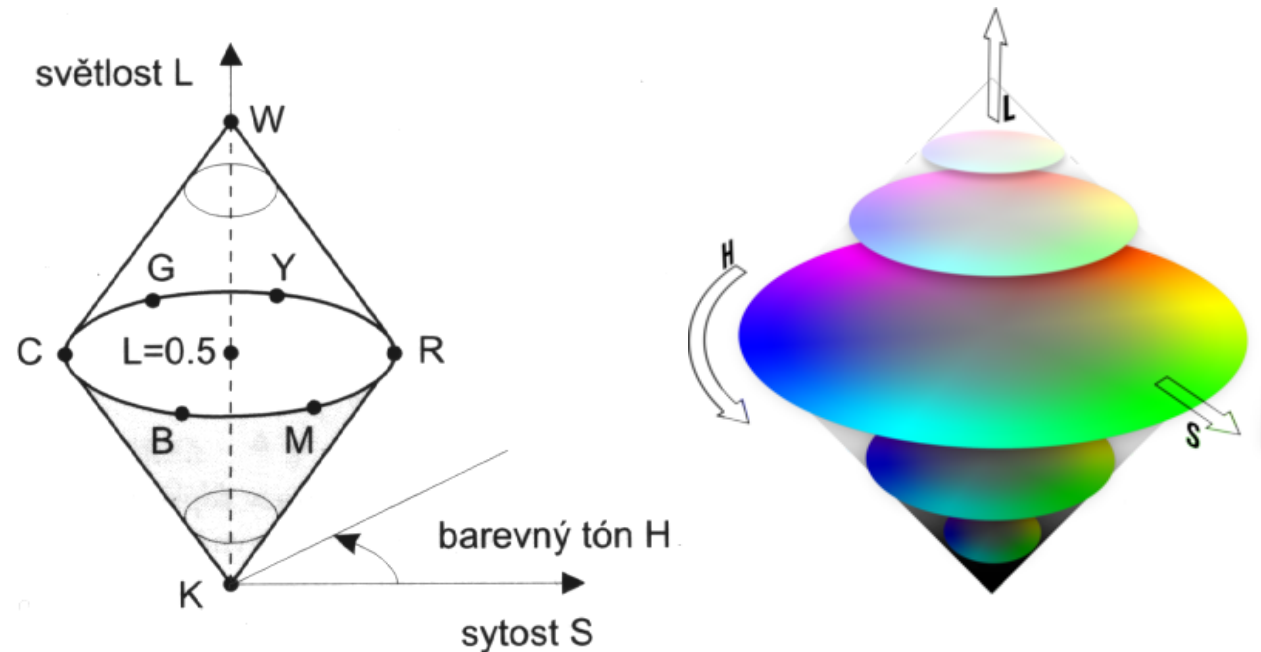
- Barevný tón - Hue
- Sytost - Saturation
- Jasová hodnota - Value



Někdy je nevýhodný pro svůj jehlanovitý tvar, který způsobuje, že ve vodorovném řezu se musí bod o konstantní hodnotě **S** pohybovat při změně **H** po dráze ve tvaru šestiúhelníku a nikoliv po kružnici, jak by bylo přirozené. Dalším záporným jevem je nesymetrie modelu z hlediska jasu.

Barevný model H,L,S

Barevný tón	- Hue
Světlost	- Lightness
Sytost	- Saturation



Tvar modelu HLS plně odpovídá skutečnosti, že nejvíce různých barev vnímáme při „střední“ světlosti. Schopnost rozlišovat barvy klesá jak při velkém ztmavení, tak při přesvětlení (oblast obou vrcholů kuželů). Další dobrá vlastnost modelu HLS spočívá v analogii míchání barev přidáváním černých a bílých pigmentů k základním spektrálním barvám. Zvýšení světlosti při nezměněné sytosti si lze představit jako přidání jistého množství bílých a ubrání stejného množství černých pigmentů. Samotné zvýšení sytosti odpovídá odebrání stejného množství bílých a černých pigmentů.

Modely pro televizní a video techniku YUV

Model YUV je někdy také označován jako $(Y, B-Y, R-Y)$.
Využíván při přenosech TV signálů v normě PAL.

Z modelu RGB získáme hodnoty YUV takto:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.141 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Další televizní modely: YIQ (pro NTSC), $Y C_B C_R$ (pro SECAM, a další...)

Digitální televizní technika model $Y C_B C_R$ (JPEG, MPEG):

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & 0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Chromatický diagram XYZ, (CIE)

CIE- Mezinárodní komise pro osvětlování.

1931 Mezinárodní standard základních barev. Jeho součástí je i Chromatický diagram. Každá skutečná barva je podle tohoto standardu vytvořena z barev A, B, C, které zapisujeme v normalizovaném tvaru:

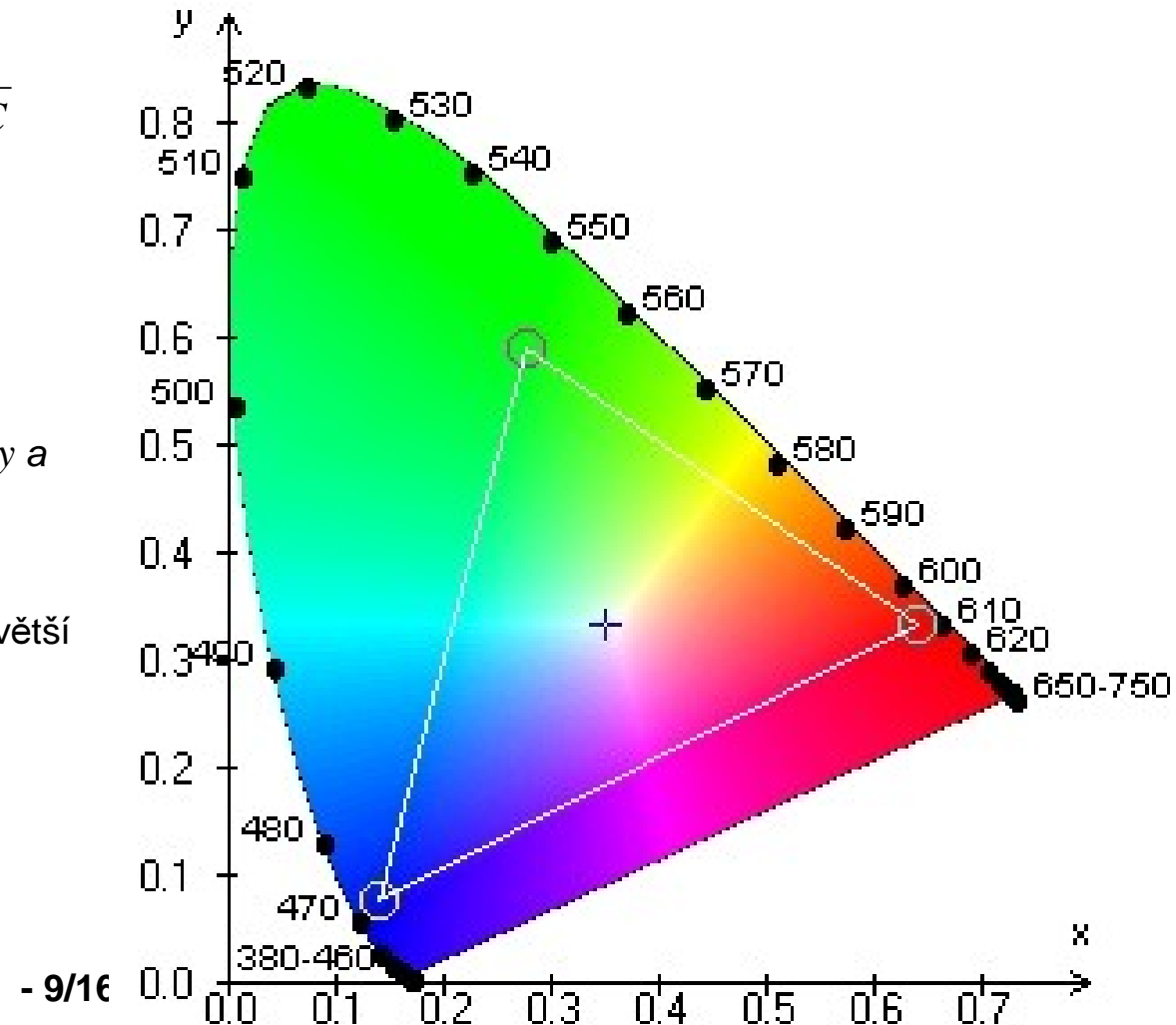
$$x = \frac{A}{A+B+C} \quad y = \frac{B}{A+B+C} \quad z = \frac{C}{A+B+C}$$

Protože platí že:

$$x + y + z = 1$$

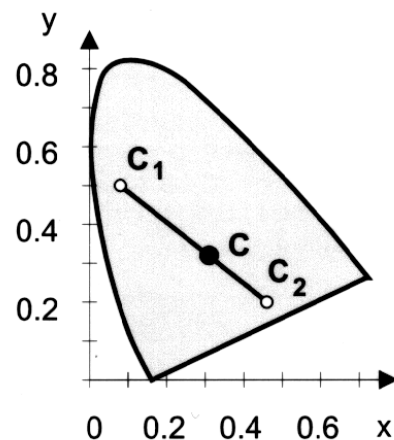
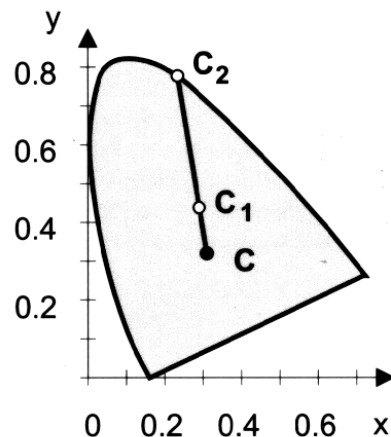
Stačí nám k vyjádření pouze dvě složky. Vybereme x , y a můžeme reprezentovat všechny barvy dvojrozměrným diagramem.

Pozor barvy x , y , z jsou pouze imaginární (mají sytost větší než 100%).



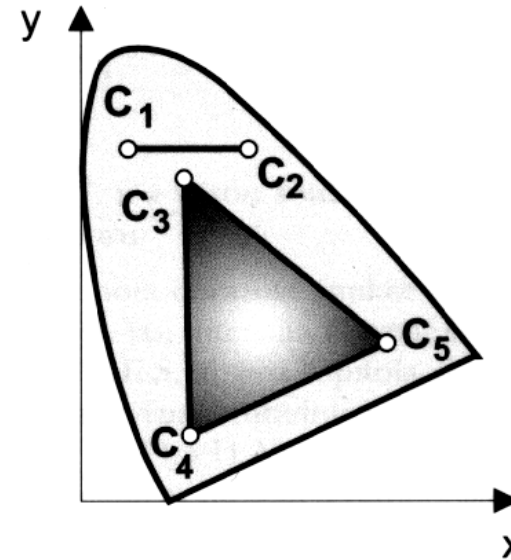
Pravidla pro tvorbu barev v chromatickém diagramu:

1. Pro libovolný barevný bod C_1 v obrázku definujeme sytost barvy, jako relativní vzdálenost barevného bodu od standardního bílého světla C . Barva C_1 na obrázku je sytá asi z 25%, protože leží přibližně v jedné čtvrtině orientované úsečky mezi C a C_2 .
2. Dominantní vlnová délka jakékoliv barvy je definována jako vlnová délka na spektrální křivce protínající úsečku spojující C_1 a C . Dominantní vlnová délka je tedy na obrázku označena jako C_2 .
3. Doplnkové barvy leží na spojnici, která prochází bodem C . Pokud mají dvě doplňkové barvy stejnou sytost (relativní vzdálenost od C), vznikne jejich složením bílé světlo.



4. Při sloučení dvou barev leží výsledná barva vždy na spojnici dvou vstupních barev.

5. Při sloučení tří barev leží výsledná barva vždy uvnitř trojúhelníka vyznačeného třemi vstupními barvami. Tzv. Barevný rozsah (color gamut)



Důsledky plynoucí z chromatického diagramu:

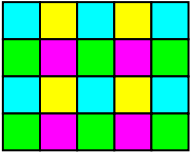
1. Není možné nalézt takové tři barvy, které by určovaly trojúhelník pokrývající celý diagram. To odpovídá skutečnosti, že z konečného počtu základních barev nelze vytvořit všechny existující barvy. Počítačem generované obrazy proto obsahují vždy méně barev než skutečný svět.
2. Různá technická zařízení mívají různé základní barvy, čemuž odpovídají různé polohy a velikosti trojúhelníků barevných rozsahů. Z uvedeného je tedy zřejmé, že obraz popsany v modelu RGB nemusí být stejně vytištěn na tiskárně CMYK. Barevné rozsahy těchto zařízení jsou odlišné a i přes výpočetní korekce dochází ke ztrátám či posuvům barev. I lidský zrak má svůj omezený barevný rozsah, neboť barvy detekuje pouze několika druhy receptorů.

Další barevné modely

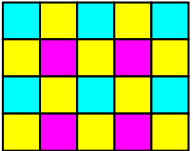
- Munsell Color System
- Opponent Color Space
- L^*a^*b
- L^*u^*v
- U^*V^*W
- LMS
- Hue invariant color space
- a další (např. poměry složek v RGB krychli)

Barevné modely a zpracování dat pro barevné snímače obrazu

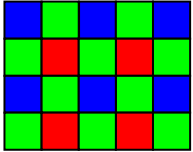
Pro běžné barevné optické snímače často neplatí (s výjimkou troj-snímačového uspořádání), že poskytují informaci o všech barevných složkách pro každou hodnotu pixelu v pravidelné mřížce, proto hovoříme o tzv. barevné mozaice, označované v literatuře jak pole barevných filtrů, tzv. *Color Filter Array (CFA)*.



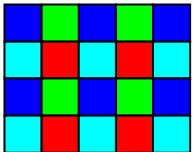
CYGM, (použito výjimečně)



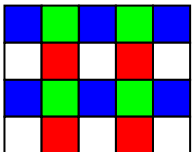
CYYM (Kodak CCD)



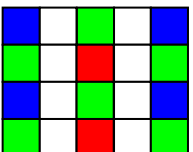
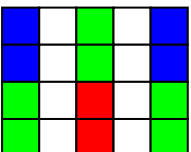
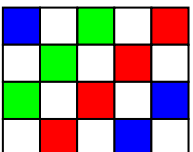
RGB Bayer (nejčastější)



RGBE (Bayer modifikace, Sony)



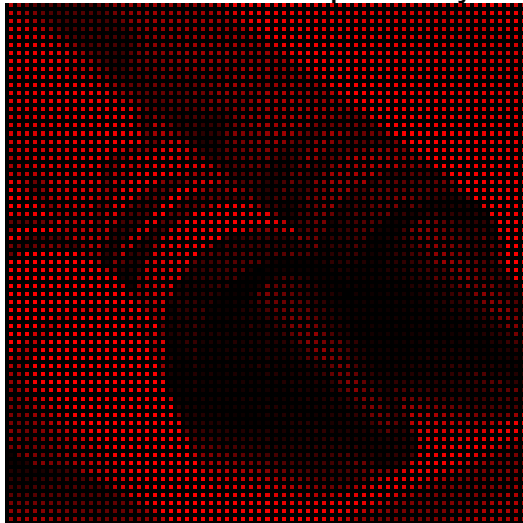
RGBW Bayer (první Eastman Kodak modifikace vycházející z RGBE)



RGBW Kodak (Obsahuje 50% bílých pixelů)

Barevný demosaicing

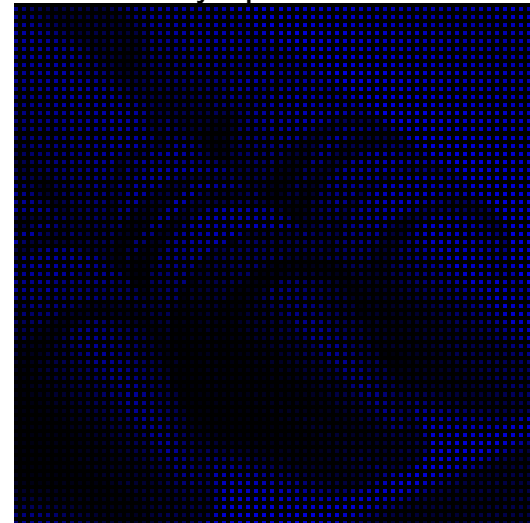
Pro získání barevných složek pro každý pixel je nutné aproximovat barevné informace z okolních pixelů. Například pro snímač s rozlišením 130x130 pixelů využívající Bayerovu mozaiku. Existují různé metody aproximace.



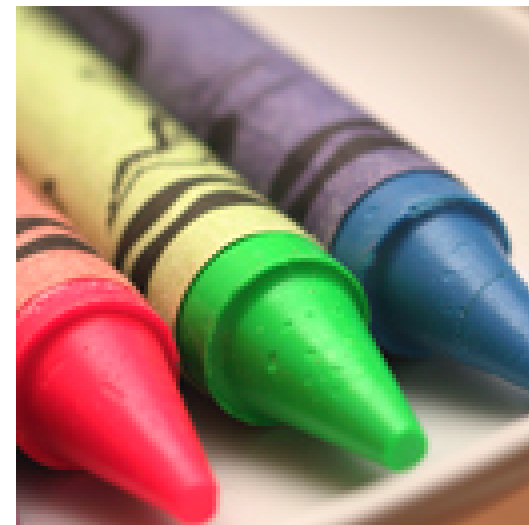
4,225 detektorů R



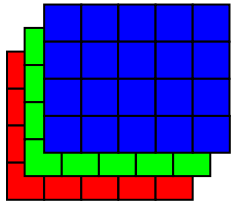
8450 detektorů G



4225 detektorů B



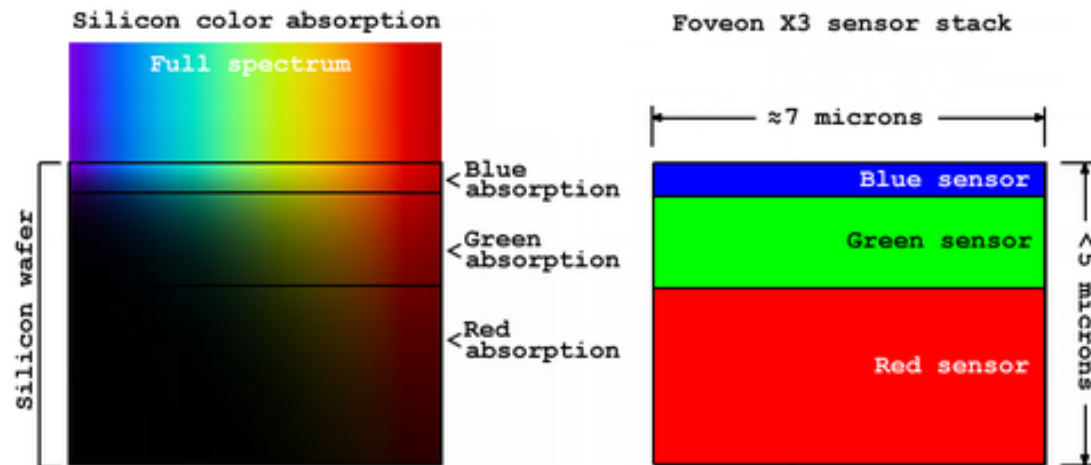
Troj-snímačové realizace



Tři nezávislé CCD snímače,
Nikon dichroic mirrors senzor,

Senzor: Foveon X3

Autor: Richard B. Merrill za koncept a konstrukci „vertical color filter“ obdržel v roce 2008: *Kosar Memorial Award*.
Fotoaparáty s těmito senzory vyrábí společnost Sigma pod označení: Sigma SDx Merrill.



Literatura, použité obrázky:

- [1] Žára J., Beneš B., Felkel P.: Moderní počítačová grafika, Computer press 1998, ISBN 80-7226-049-9.
- [2] Žára J. a kol.: Počítačová grafika - Principy a algoritmy, Grada 1992, ISBN 80-85623-00-5.
- [3] Skala V. Světlo, barvy a barevné systémy v počítačové grafice; Academia 1993; ISBN 80-200-0463-7.
- [4] Webové stránky CIE, Color space.
- [5] Wiley InterScience: Encyclopedia of Imaging Science and Technology, <http://www3.interscience.wiley.com>.
- [6] Wikipedia, The free encyklopedia: HLS color space, <http://en.wikipedia.org/wiki/HLS>.
- [7] Wikipedia R. Merrill: https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_B._Merrill
- [8] Lars Rehm: Sigma DP1 Review, dostupné online: <https://www.dpreview.com/reviews/sigmadp1>
- [9] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter