



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Rozvoj lidských zdrojů TUL pro zvyšování relevance, kvality a přístupu ke vzdělání v podmínkách Průmyslu 4.0

CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_015/0002329

Úvod do zpracování obrazů

Mechatronika

Prezentace přednášky č. 2

Pořízení, předzpracování obrazu a barevné prostory

doc. Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



<http://www.ite.tul.cz>



POŘÍZENÍ OBRAZU

- Druhy vyzářené energie pro zobrazování objektů
 - 1) El.-mag. záření + γ -záření, rentgenové, ultrafialové, infračervené záření, **viditelné světlo**, mikrovlny a rádiové vlny
 - 2) Záření částic (elektrony, neutrony)
 - 3) Akustické vlny v plynech, kapalinách (podélná vlna) a v tuhých tělesech (příčná vlna)
- Záření interaguje s hmotou na povrchu nebo v objemu
- Vyzařování - horké těleso, odraz, luminiscence
- Informace v záření
 - 1) frekvence (vlnová délka)
 - 2) amplituda (intenzita)
 - 3) mód polarizace příčné vlny
 - 4) fáze (koherentní zobrazovací techniky – interferometre, holografie)





RADIOMETRIE



- Tok a přenos vyzářené energie
- Vznik obrazu díky odrazu záření od neprůhledných objektů
- Měření intenzity – jasu
- **Jas** >>> závisí na tvaru objektu, odrazivých vlastnostech jeho povrchu, poloze pozorovatele, poloze a typu světelných zdrojů
- Radiometrická analýza změn jasu – složitá
- Zjednodušení – nasvícení scény (oddělení zajímavých objektů)



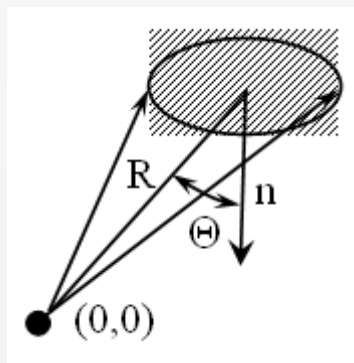


FOTOMETRIE

- Veličiny popisující odezvu vjemů zrakového smyslu
- **Zářivý tok** Φ [W] \leftrightarrow **světelný tok** Φ_{ph} [lm - lumen]. Převod 1W = 680 lm pro $\lambda = 555$ nm a fotooptické (čípkové) vidění

$$\Phi_{ph} = \int_{\lambda} K(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda$$

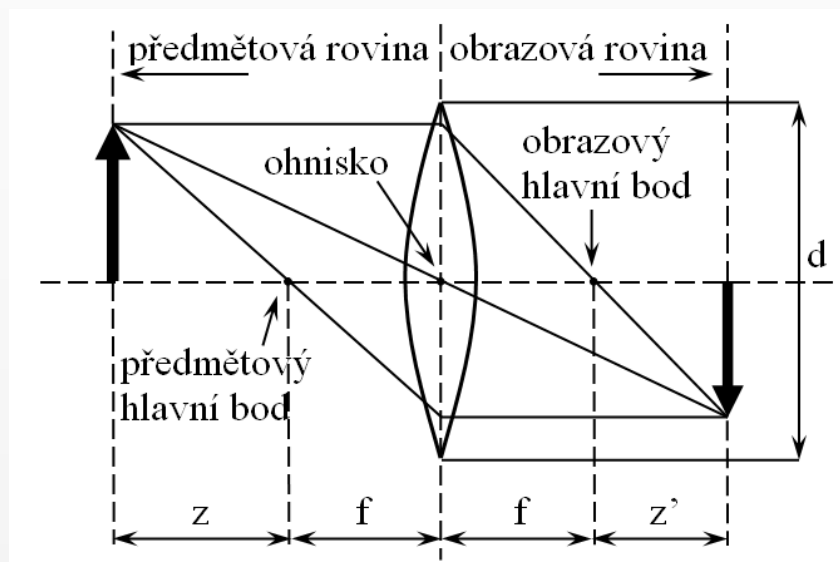
- $S(\lambda)$ [W]...výkon zdroje záření, $K(\lambda)$ [lm.W-1]...světelná účinnost, λ [m]...vlnová délka
- Fotometrické veličiny závisí na pozorovateli, prostorový úhel odpovídající elementární plošce





OPTICKÁ ČÁST KAMERY

- Ideální model >>> dírková kamera (nereálné – ohyb (difrakce) světla)
- Rovinné zrcadlo zobrazuje body na body
- Ideální **tenká čočka** (soustřeďuje pouze paprsky vycházející z bodu v rovině kolmé k optické ose ve vzdálenosti z od středu promítání)



$$\frac{1}{z' + f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f + z} \quad z \cdot z' = -f^2$$

- f – ohnisková vzdálenost, z' – vzdálenost mezi obrazovým hlavním bodem a obrazovou rovin.



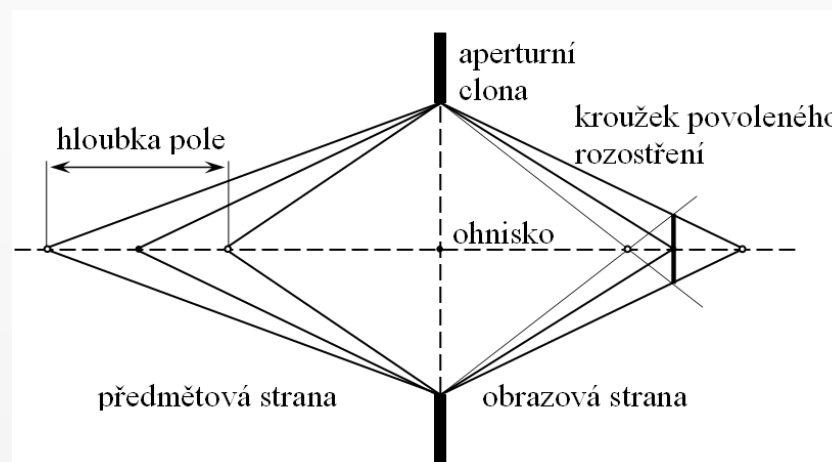
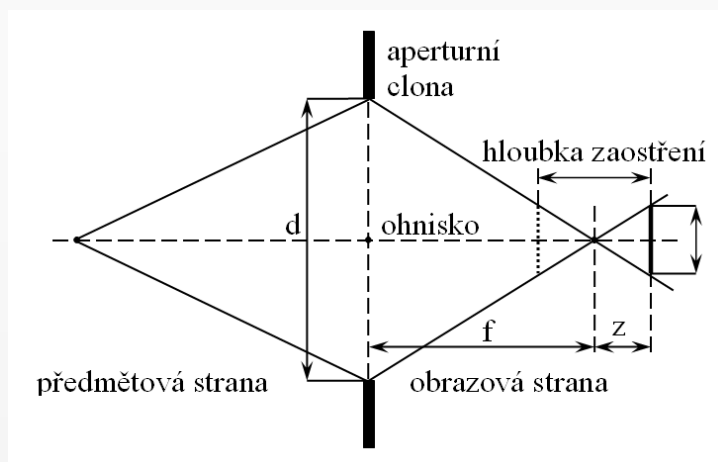


OPTICKÁ ČÁST KAMERY

- Zvětšení optické soustavy m : X ...velikost předmětu v předmětové rovině, x ...velikost obrazu předmětu v obrazové rovině

$$m = \frac{x}{X} = \frac{f}{z} = \frac{z'}{f}$$

- a) **Hloubka zaostření** na obrazové straně optické soustavy, rozostření obrazu >>> posunutí obrazové roviny mimo obrazový hlavní bod



- b) **Hloubka pole** >>> rozsah přípustných poloh pozorovaného předmětu při zachovaném požadavku na rozostření nejvýše o ϵ

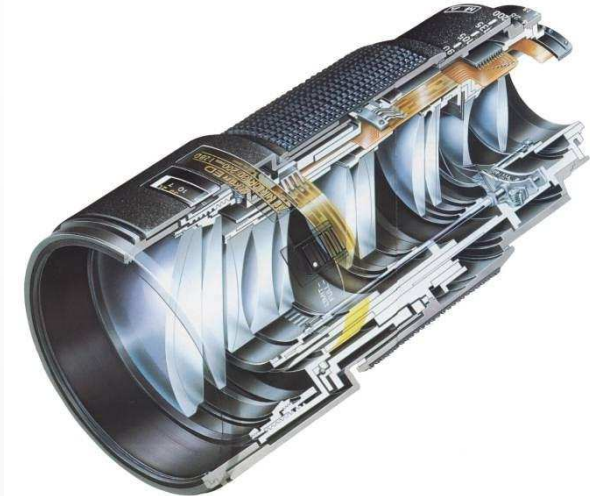




OPTICKÁ ČÁST KAMERY



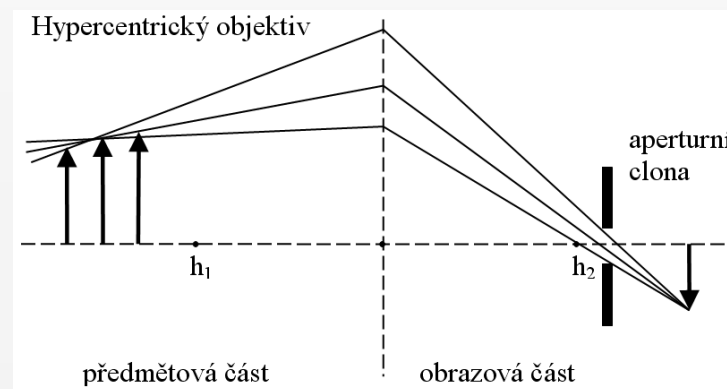
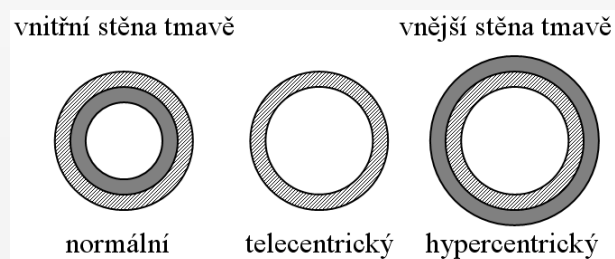
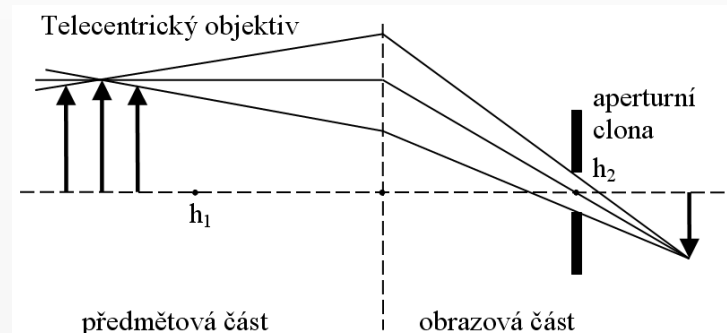
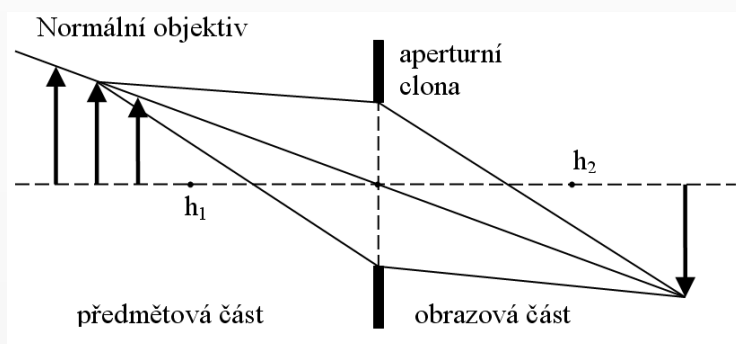
- Skutečné objektivy >>> **tlusté čočky**
- >>> přední a zadní ohnisko
- Efektivní tloušťka tlusté čočky
- >>> vzdálenost mezi předním a zadním ohniskem
- Paprsek vcházející do čoček přes přední ohnisko,
• vychází ze zad. ohniska pod stejným úhlem
- Při optickém měření rozměrů měřený předmět nemusí být v obrazové rovině
>>> předmět se přiblíží - vypadá větší, předmět se vzdálí – menší
- **Optické vady** >>> z bodového předmětu nevznikne bodový obraz, distribuce intenzit v obraze – šířka měřicího stupně rozostření, posun středu distribuce (geometrické zkreslení)
- Průchod světla prostředím (vzduchem) >>> rozptyl >>> pokles vysokých frekvencí ve fourierovském spektru >>> kompenzace filtrem derivačního charakteru





OPTICKÁ ČÁST KAMERY

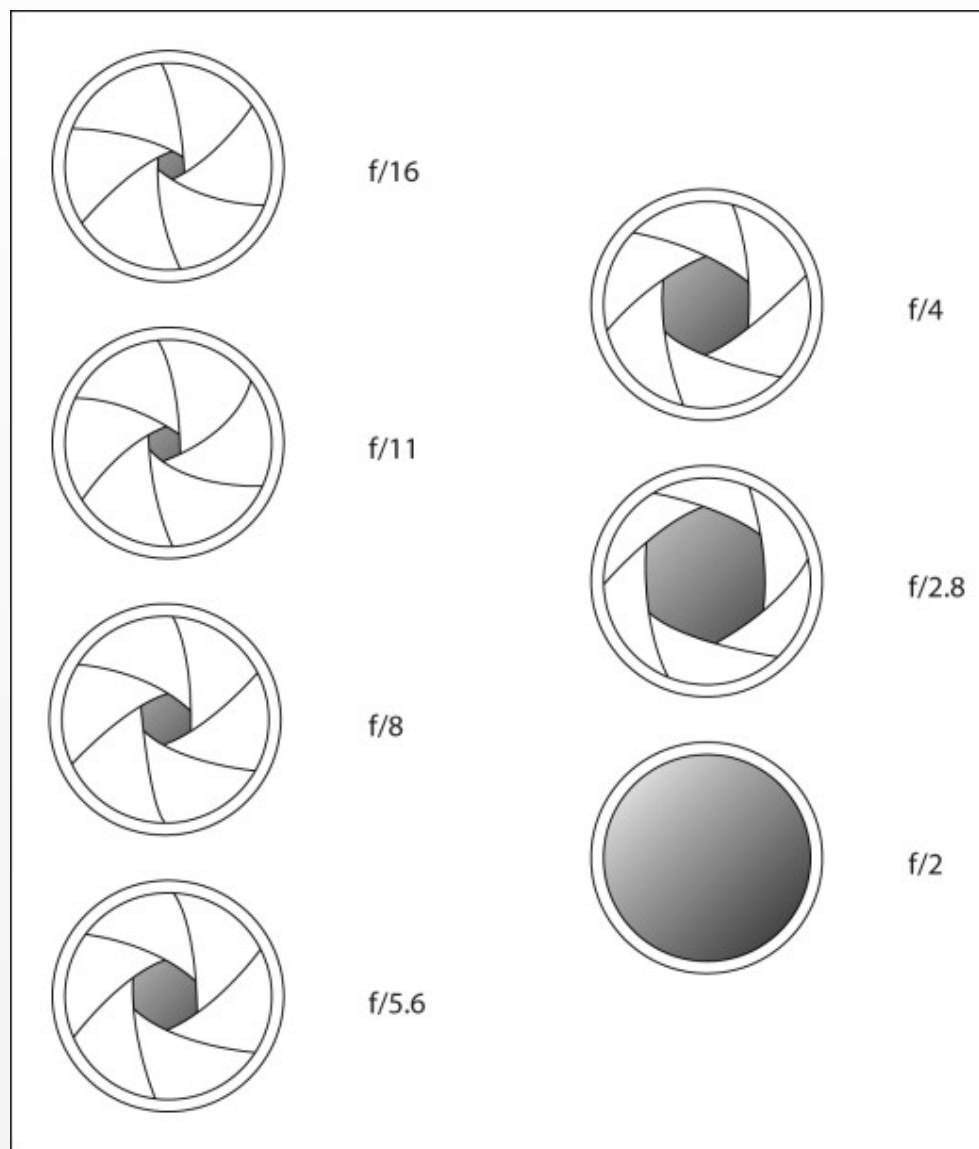
- **Telecentrický objektiv** >>> obraz vytvářejí pouze paprsky, které jsou přibližně rovnoběžné s optickou osou (-) průměr objektivu musí být přinejmenším tak velký jako měřené rozměry, průměr objektivu > 50 mm) – drahé
- **Hypercentrický objektiv** >>> aperturní clona mezi hlavním bod a obrazovou rovinou, vzdálenější objekty jsou zobrazovány jako větší





OPTICKÁ ČÁST KAMERY

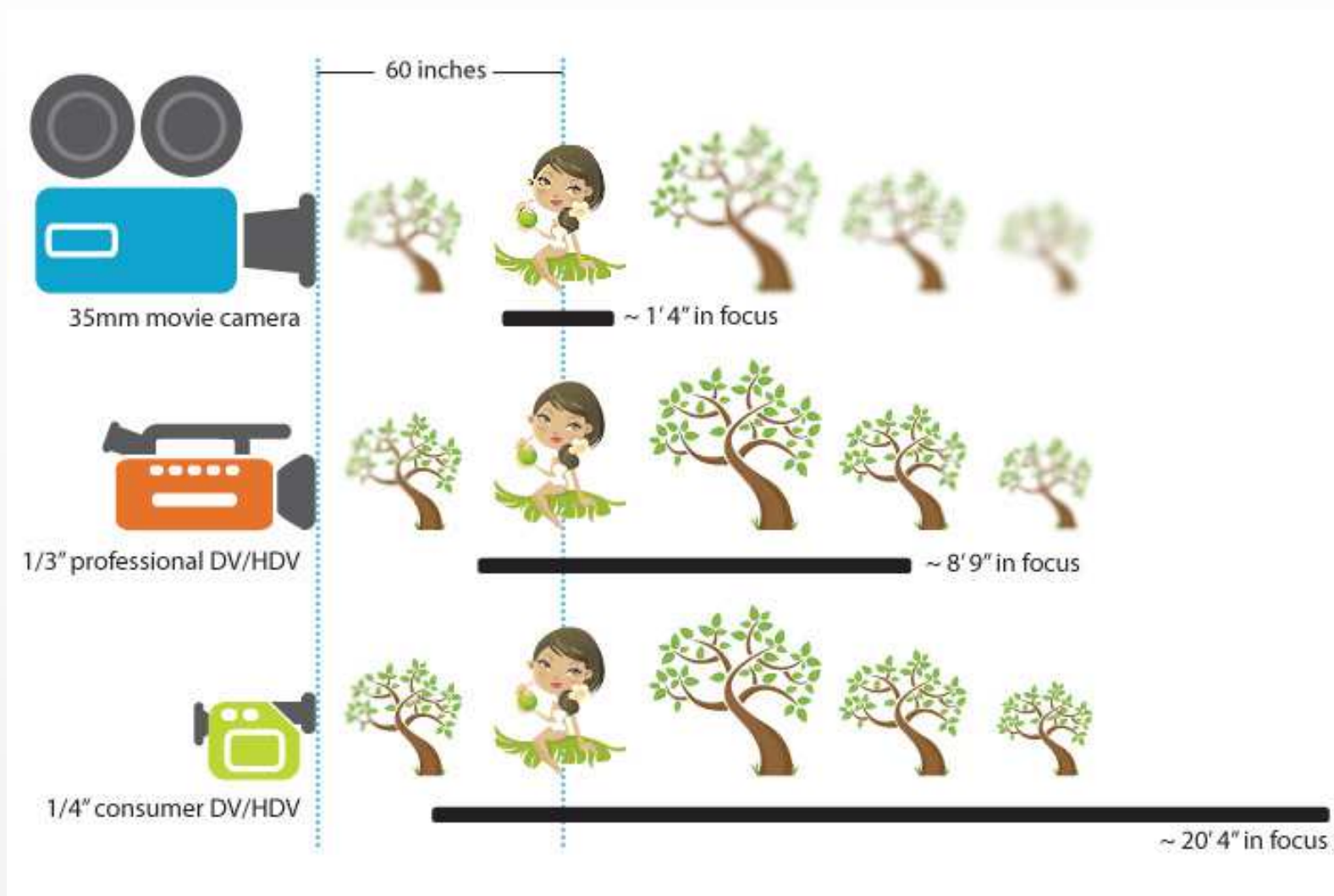
- Clona kamery





OPTICKÁ ČÁST KAMERY

- hloubka zaostření





OPTICKÁ ČÁST KAMERY



Rybí oko

Ohnisková vzdálenost (přepočteno na 35mm kinofilmové políčko): 4 – 6mm (rybí oko), 14 – 35mm (širokoúhlý objektiv), 50mm (základní objektiv), 60 – 300mm (dlouhé ohnisko), >300mm ultradlouhé ohnisko





SNÍMAČE SVĚTELNÉ ENERGIE V KAMERÁCH



- Snímače na fotoemisivním principu >>> vnější fotoelektrický jev (přijetí fotonu – uvolnění elektronu), vákuové snímací elektronky a fotonásobiče
- Snímače na fotovoltaičtém nebo fotovodivostním principu >>> vnitřní fotoelektrický jev (energie fotonu způsobí, že elektron opustí svoje valenční pásmo, u fotovodivostních látek se dostane do vodivého pásma)
- Čidla >>> fotodioda, lavinová fotodioda (zesilovač světla, chováním podobná vakuovému fotonásobiči, zesiluje také šum, používá se např. v kamerách pro noční vidění), fotoodpor a Schottkyho fotodioda (důležitá součást CCD snímačů)
- **CCD snímače** (angl. Charge Coupled Devices), převod světelné energie na elektrický náboj, analogovým posuvným registr, **(-)** vzájemné ovlivňování nábojů v sousedních pixelech (blooming), malý rozsah intenzit (2 řády), **(+)** velká citlivost a poměrně nízký šum
- **CMOS snímače** kamera i procesor na jednom čipu, **(+)** větší rozsah intenzit (asi 4 řády), velká rychlost vyčítání (okolo 100 ns), náhodný přístup k pixelům **(-)** o řád větší šum než u CCD snímačů





KAMERY

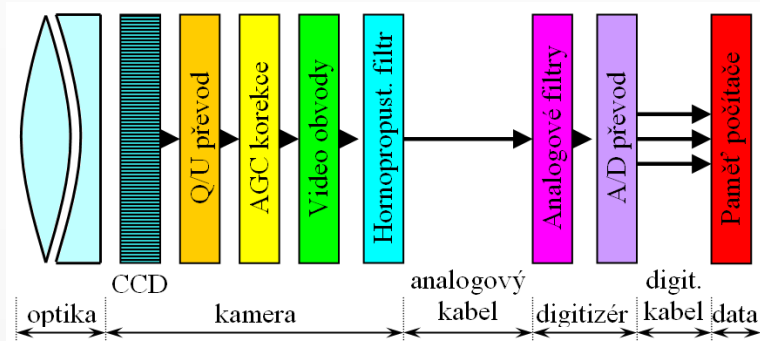
- Základní složení >>> optická soustava (objektiv), snímač a elektronika





ANALOGOVÉ KAMERY

- Generují úplný televizní signál (údajů o intenzitě, vertikální a horizontální synchronizační pulsy pro postupné vykreslování obrazu po řádcích, prokládané řádky - 50 pulsů za sekundu, snímek - 625 řádků nebo s neprokládanými řádky a vyšší snímkovou frekvencí), (-) řádky vůči sobě "plují" (jitter), tj. není zaručeno, že sousedící pixely ve dvou po sobě následujících řádcích na sebe navazují, pro měřicí >>> analogové pixlově synchronizované kamery, (+) rychlé, dlouhý kabel (10 m)



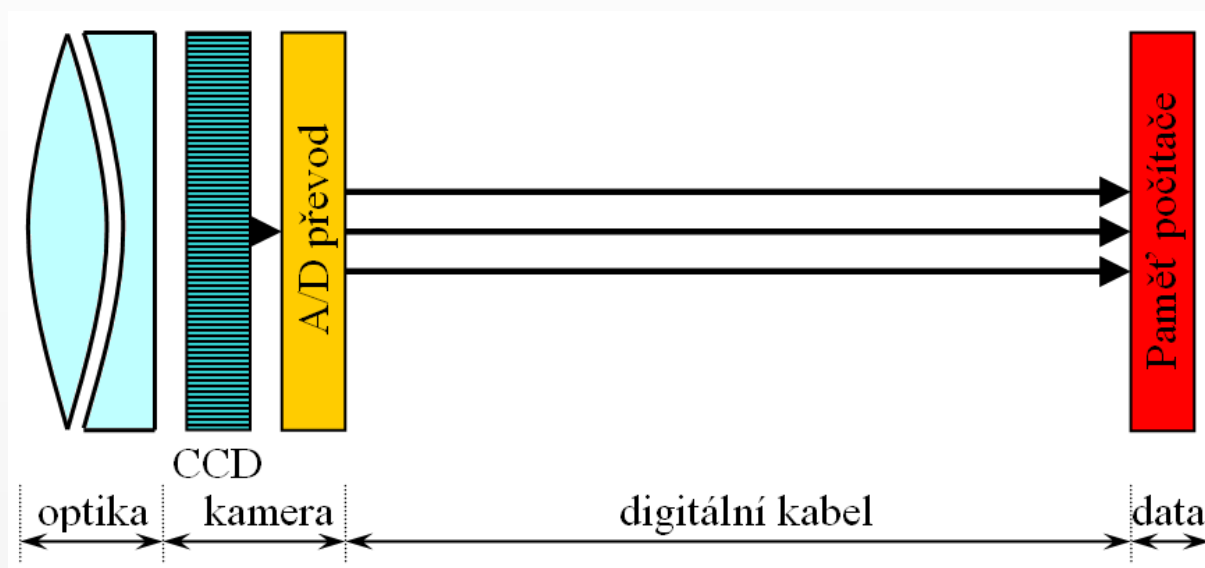
- AGC (Automatic Gain Control) mění automaticky zesílení kamery, aby se výstup kamery nedostal do saturace
- γ -korekce intenzity $I' = \alpha \cdot I_\gamma$, $0 < \gamma \leq 1$, logaritmická citlivost oka ($\gamma = 0,5$)
- Pro radiometrickou kalibraci >>> vypnout AGC a γ -korekci
- Hornopropustní (derivační) filtr zdůrazňuje vysoké frekvence – kompenzace rozmazání při průchodu signálu vzduchem a v optice
- Analogové filtry - hornopropustným filtrem opraví ztrátu vysokých frekvencí v kabelu





DIGITÁLNÍ KAMERY

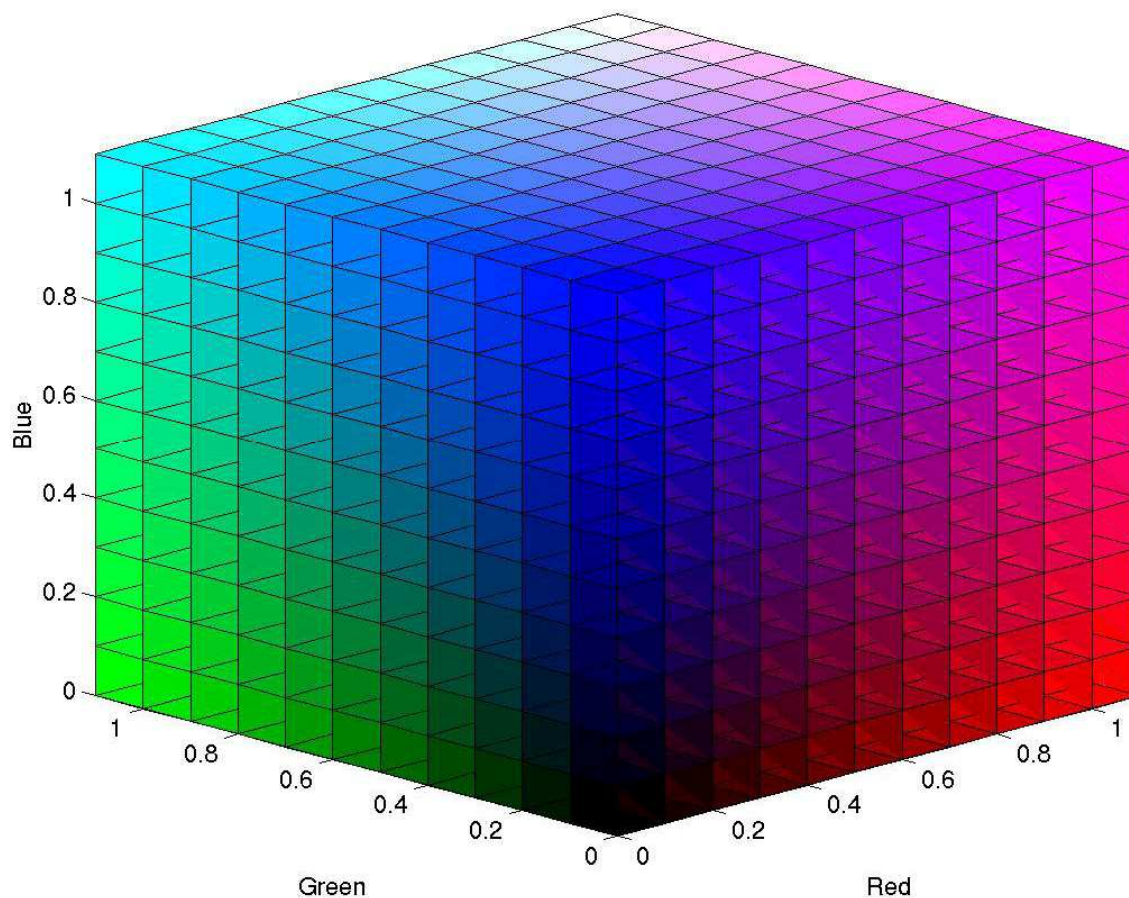
- Paralelní, sériové připojení (USB, IEEE 1394 - fire wire), (+) jediné převzorkování, bez posunu řádků, malý šum, navazující řádky, (-) krátký kabel





BAREVNÉ PROSTORY

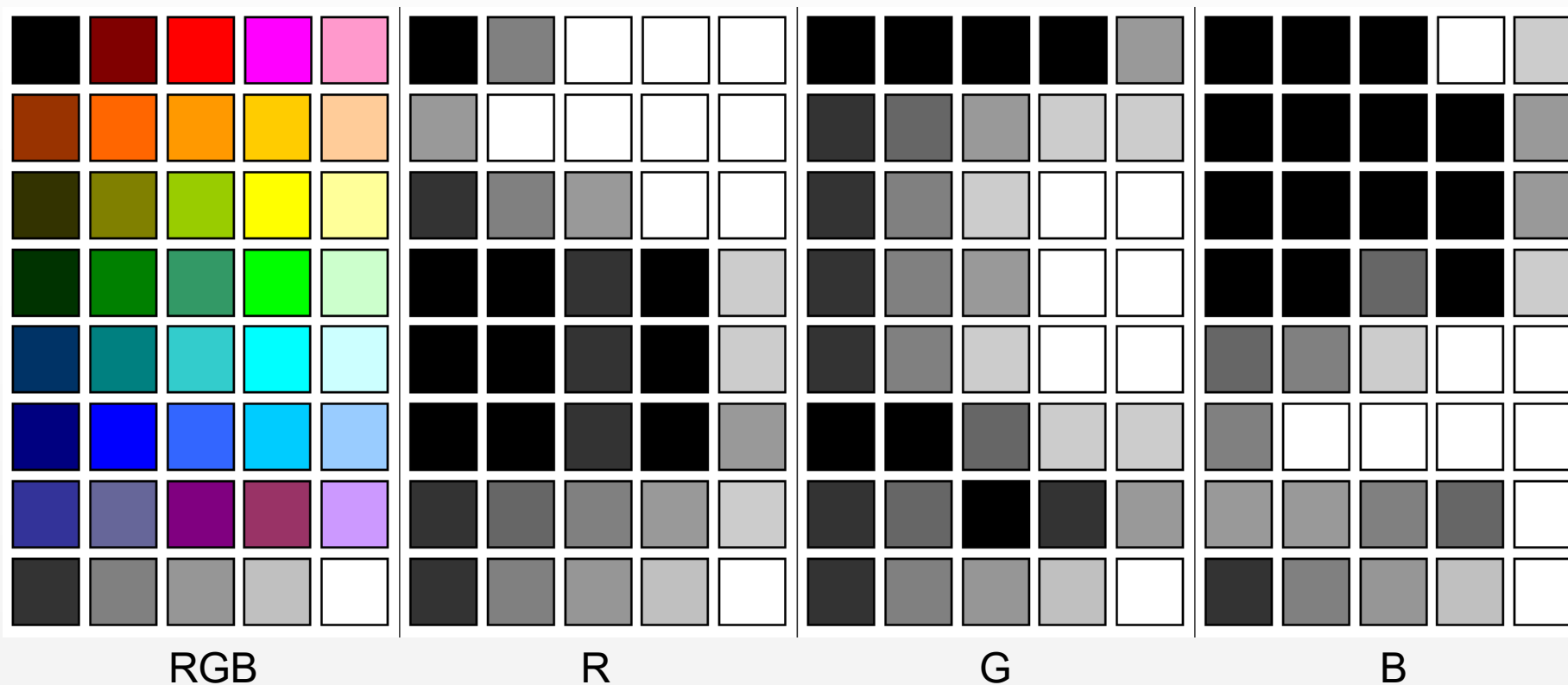
- **RGB barevný prostor** >>> kombinace barevných složek červená – R (red), zelená – G (green), modrá – B (blue), rozsah (0..255, 0..255, 0..255), (0..1, 0..1, 0..1)...





BAREVNÉ PROSTORY

- RGB barevný prostor





BAREVNÉ PROSTORY

- RGB barevný prostor

R	G	B	Barva
0	0	0	Černá
255	0	0	Červená
0	255	0	Zelená
0	0	255	Modrá
255	255	255	Bílá
255	255	0	Žlutá
255	0	255	Purpurová
0	255	255	Akvamarínová
255	127	0	Oranžová
255	0	127	Fuchsiová
127	255	0	Světle zelená
127	0	255	Fialová
0	127	255	Světle modrá
0	255	127	Brčálová
255	127	127	Růžová
127	255	127	Jarní zeleň
127	127	255	Modro-fialová

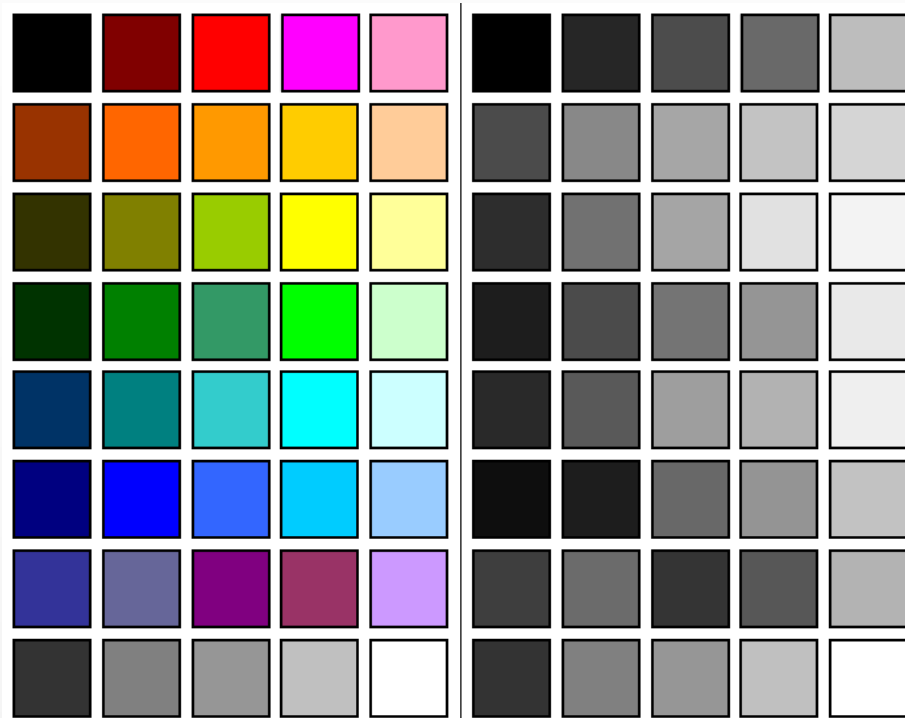




BAREVNÉ PROSTORY

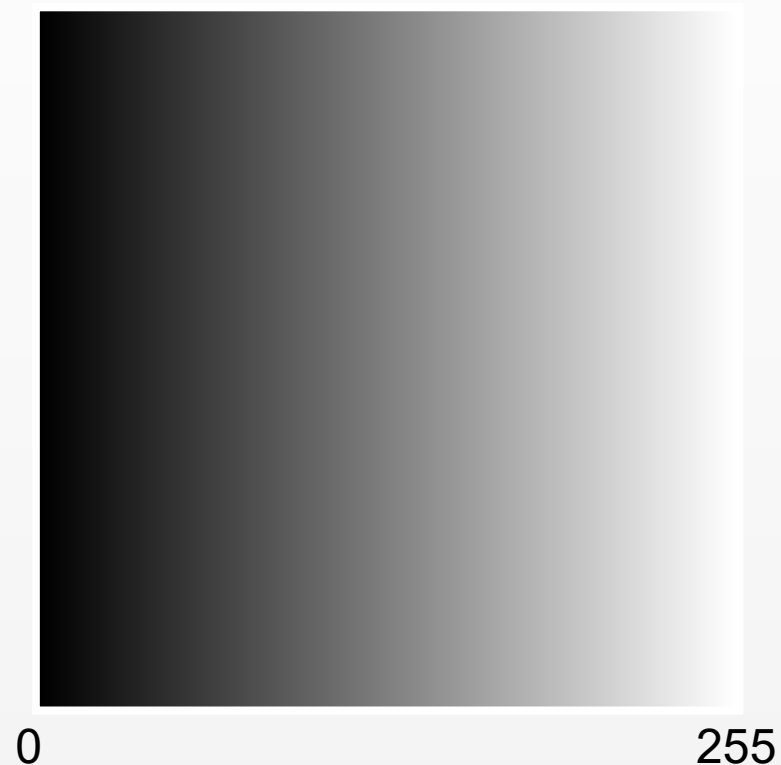
- **RGB >>> Jas**

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$



RGB

Jas Y

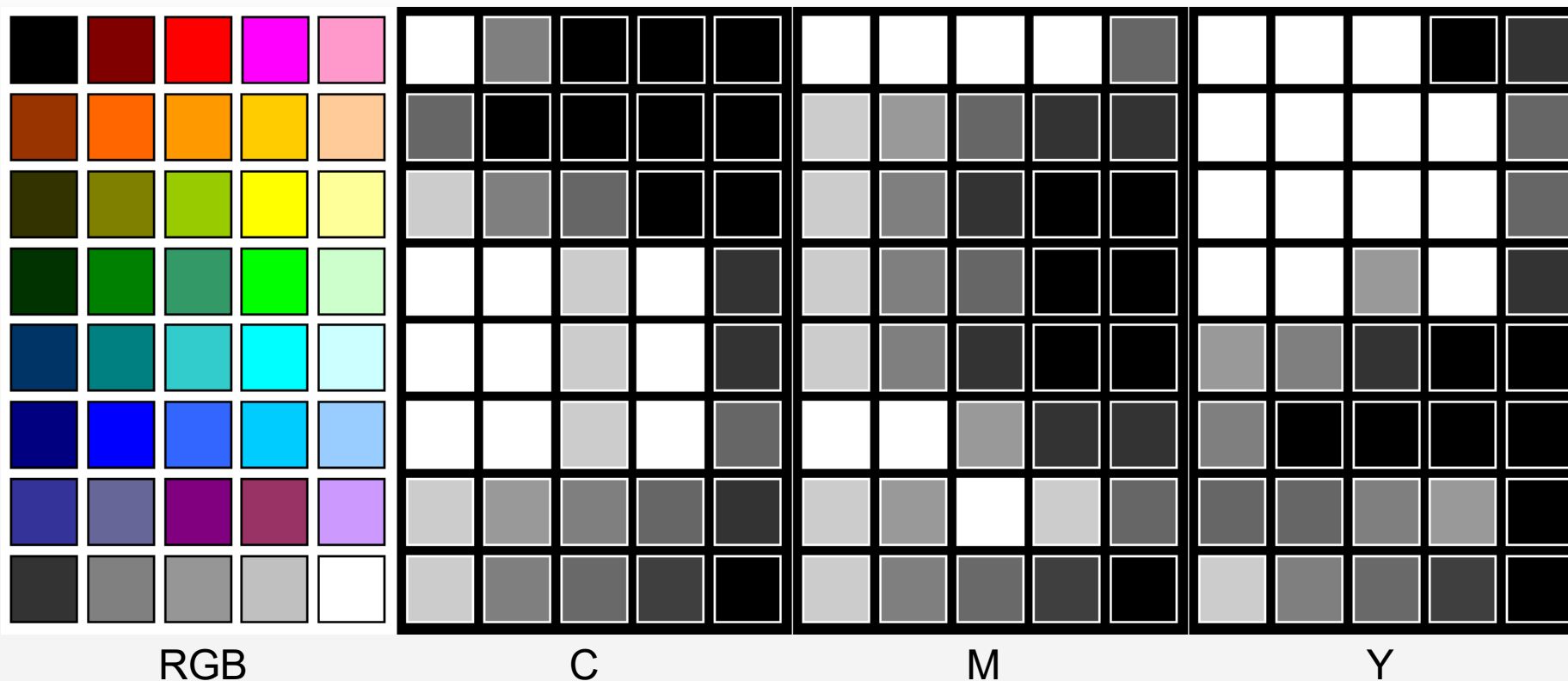




BAREVNÉ PROSTORY

- RGB >>> CMY

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

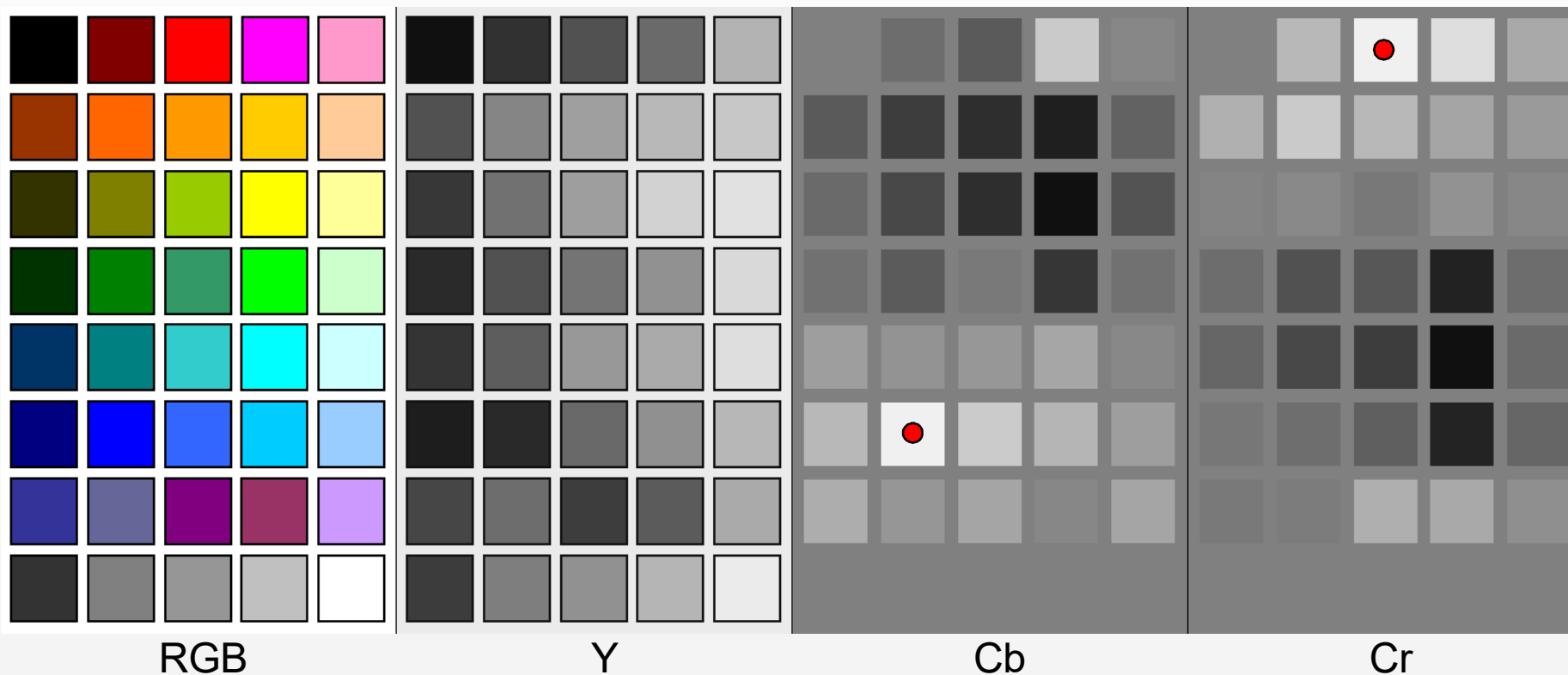




BAREVNÉ PROSTORY

- **RGB >>> YCbCr**

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$



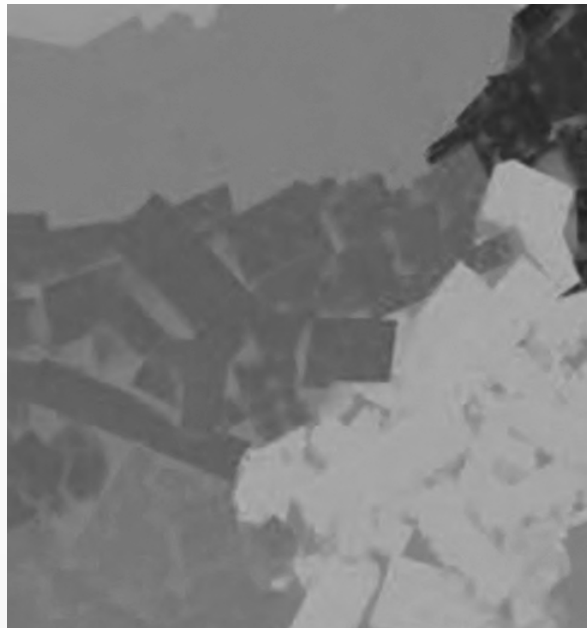


BAREVNÉ PROSTORY

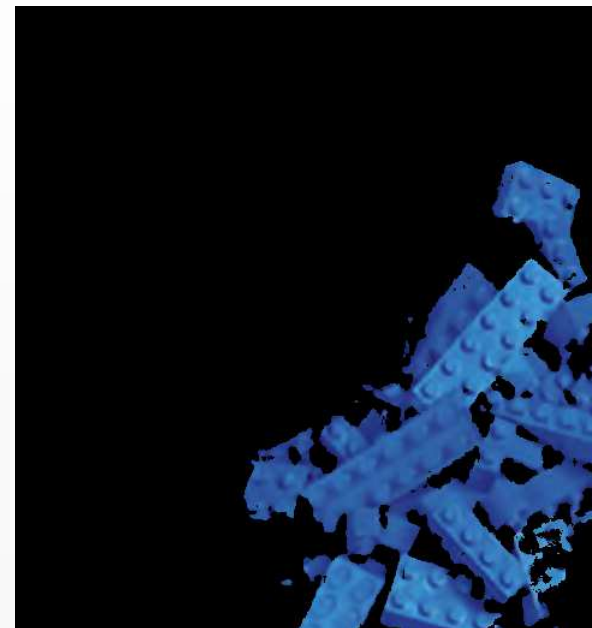
- YCbCr – Cb



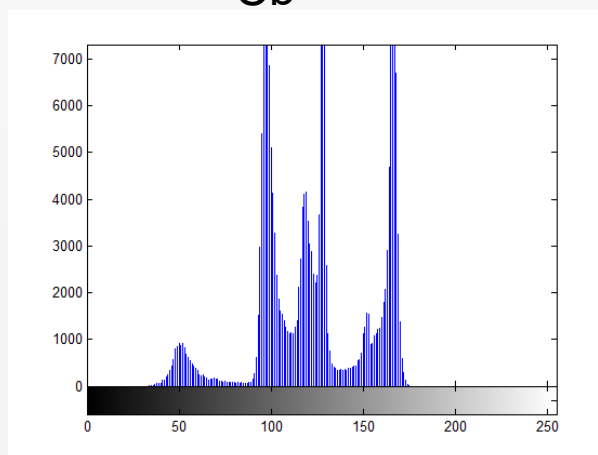
RGB



Cb



segmentace





BAREVNÉ PROSTORY

- YCbCr – Cr



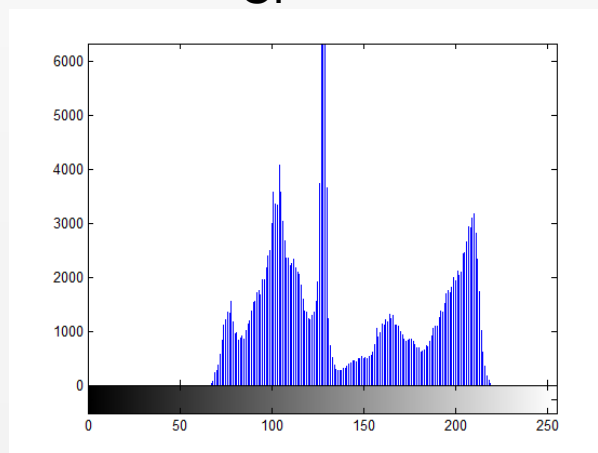
RGB



Cr



segmentace

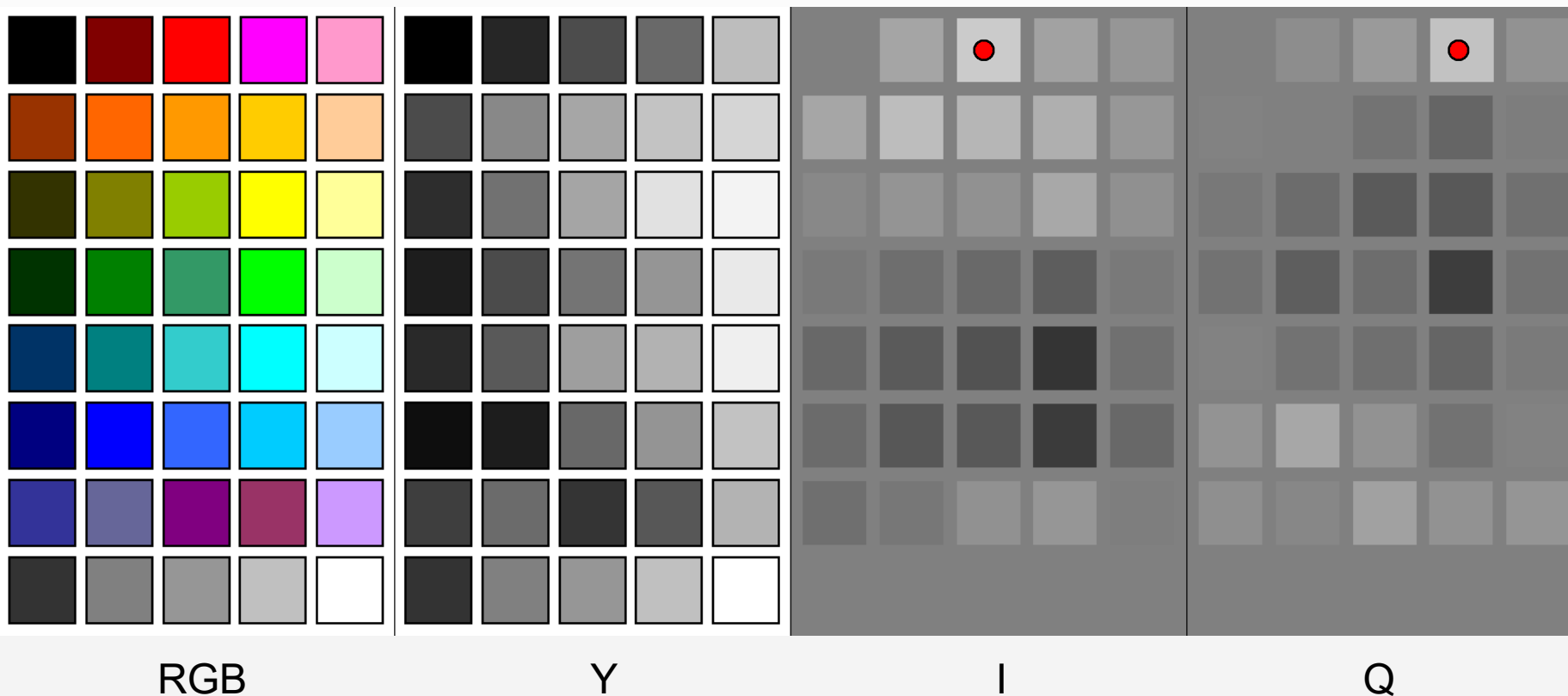




BAREVNÉ PROSTORY

- RGB >>> YIQ (NTSC)

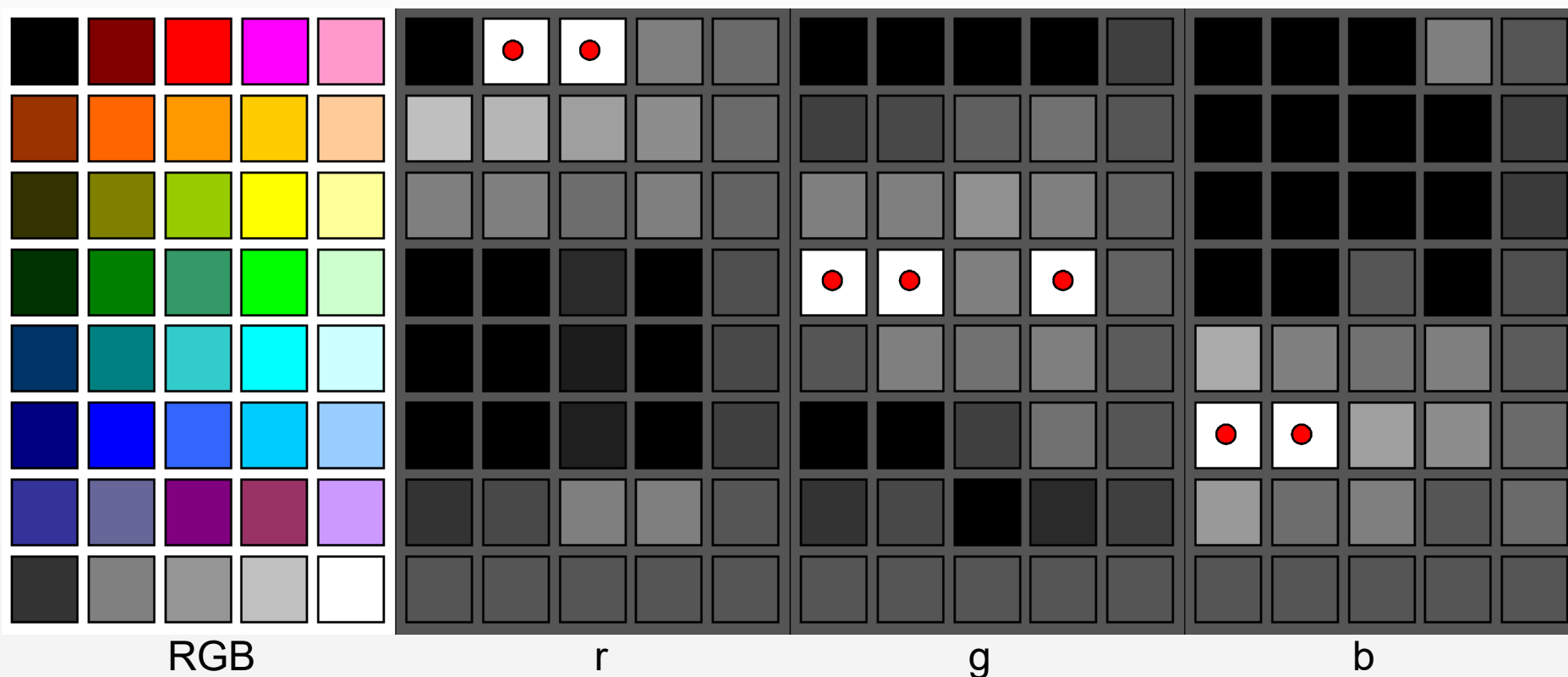
$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$





BAREVNÉ PROSTORY

- **RGB >>> rgb** $r = \frac{3.R}{R+G+B}, \quad g = \frac{3.G}{R+G+B}, \quad b = \frac{3.B}{R+G+B}, \quad \text{rozsah}(0,3)$





BAREVNÉ PROSTORY

- **RGB >>> HSV**

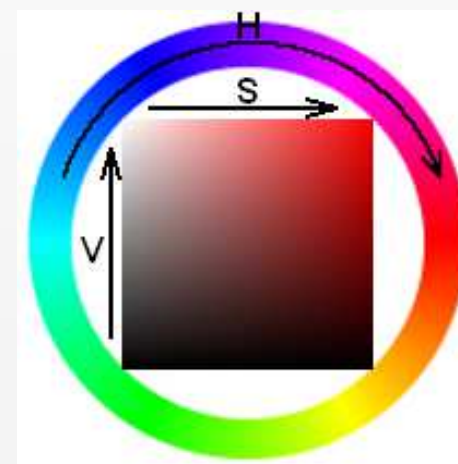
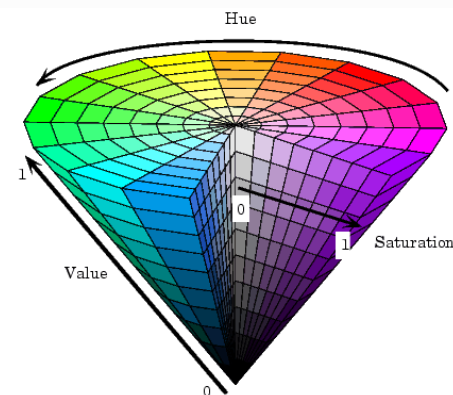
$$H = \begin{cases} 60 \cdot \left(0 + \frac{G - B}{MAX - MIN} \right), & \text{pokud } R = MAX \\ 60 \cdot \left(2 + \frac{B - R}{MAX - MIN} \right), & \text{pokud } G = MAX \\ 60 \cdot \left(4 + \frac{R - G}{MAX - MIN} \right), & \text{pokud } B = MAX \end{cases}$$

když $MAX - MIN = 0 \Rightarrow H = 0$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

když $MAX = 0 \Rightarrow S = 0$

$$V = MAX$$





BAREVNÉ PROSTORY

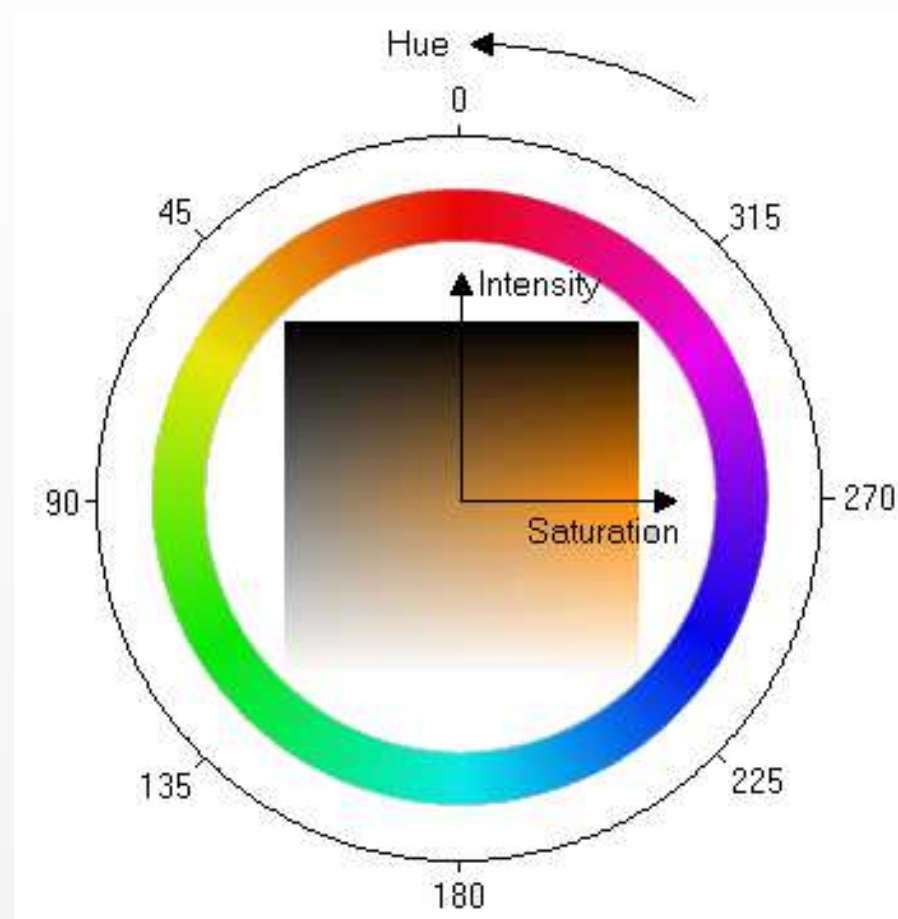
- RGB >>> HSI

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(r-g) + (r-b)]}{\left[(r-g)^2 + (r-b)(g-b) \right]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{r+g+b} \min(r, g, b)$$

$$I = \frac{r+g+b}{3}$$

$$0 \leq r, g, b \leq 1$$

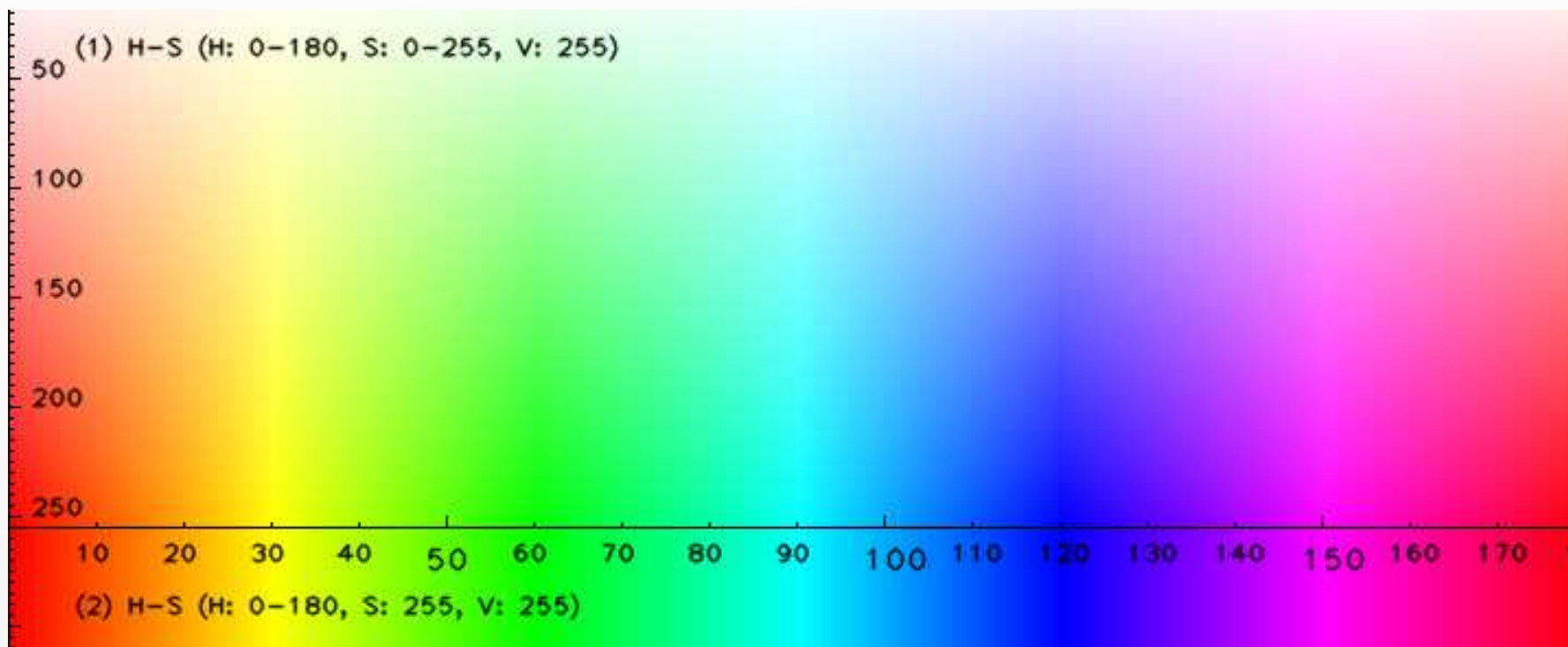




BAREVNÉ PROSTORY



- RGB >>> HSV - OpenCV



<http://www.ite.tul.cz>





BAREVNÉ PROSTORY

- **Další barevné prostory**

CIE LAB, HSL, YPbPr...

- **Vlastní barevné prostory**

Lineární, nelineární převod RGB
Na základě statistiky FLDA

- **Převod barev**

Dle vzorce, převodní tabulka (Look Up Table)
 $Y = \text{tab}[R][G][B]$, $Y = \text{tab}[255][0][0] = 77$

- **Převod hodnot barevného prostoru do stupňů šedi**

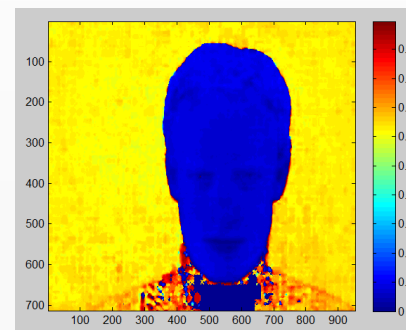
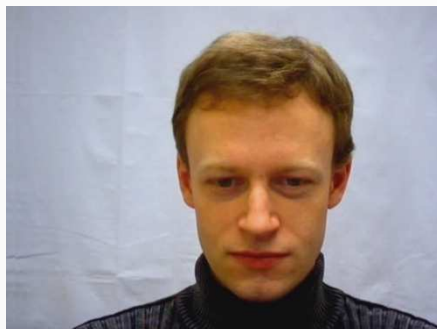
$$Y(x, y) = \frac{Col(x, y) - \min(Col)}{\max(Col) - \min(Col)} \cdot 255$$





Algoritmus CamShift

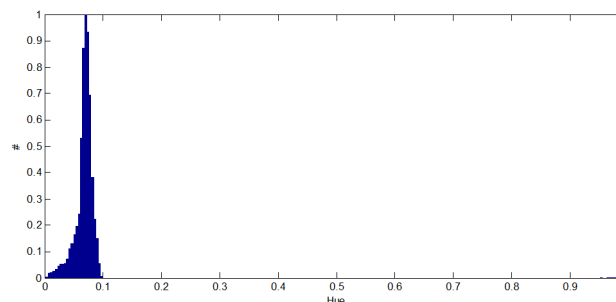
- Jednoduché sledování objektů v obraze
- 1) Převedení RGB obrázku do barevného prostoru HSV >>> výběr složky Hue >>> obraz $G(x, y)$



- 2) Výběr sledované barevné oblasti >>> obraz $I(x, y)$



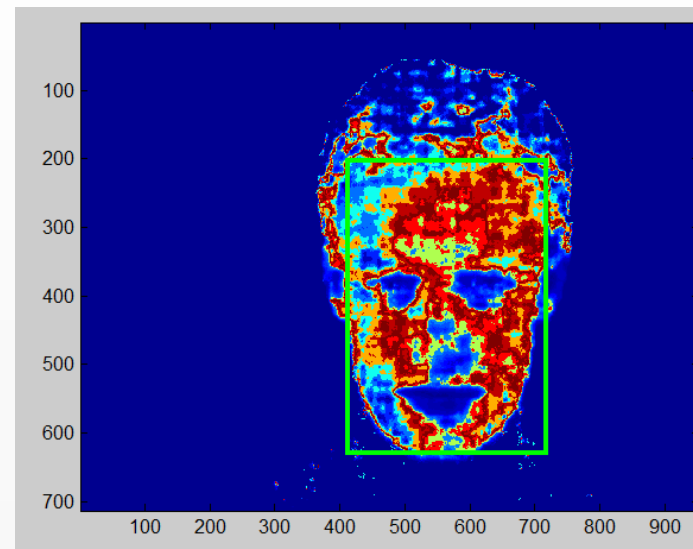
- 3) Výpočet histogramu ze sledované oblasti >>> h





Algoritmus CamShift

- 4) Zpětná projekce obrázku $P(x, y) = h(G(x, y))$



- 5) výpočet těžiště oblasti

$$x_t = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x P(x, y)}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} P(x, y)}$$

$$y_t = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} y P(x, y)}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} P(x, y)}$$

- 6) výběr nalezené oblasti >>> obdélník >>> šířka >>>

výška >>>

$$s = 0.7 \sqrt{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} P(x, y)}$$
$$v = 0.9 \sqrt{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} P(x, y)}$$





Algoritmus CamShift

- 7) sledování objektu >>> výběr oblasti z následujícího snímku dle předchozích parametrů x_t , y_t , s a v >>> Hue složka >>> zpětná projekce >>> výpočet nového těžiště

