



ICP

Interakce člověka s počítačem



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt ESF CZ.1.07/2.2.00/28.0050
**Modernizace didaktických metod
a inovace výuky technických předmětů.**

Organizace předmětu I/II

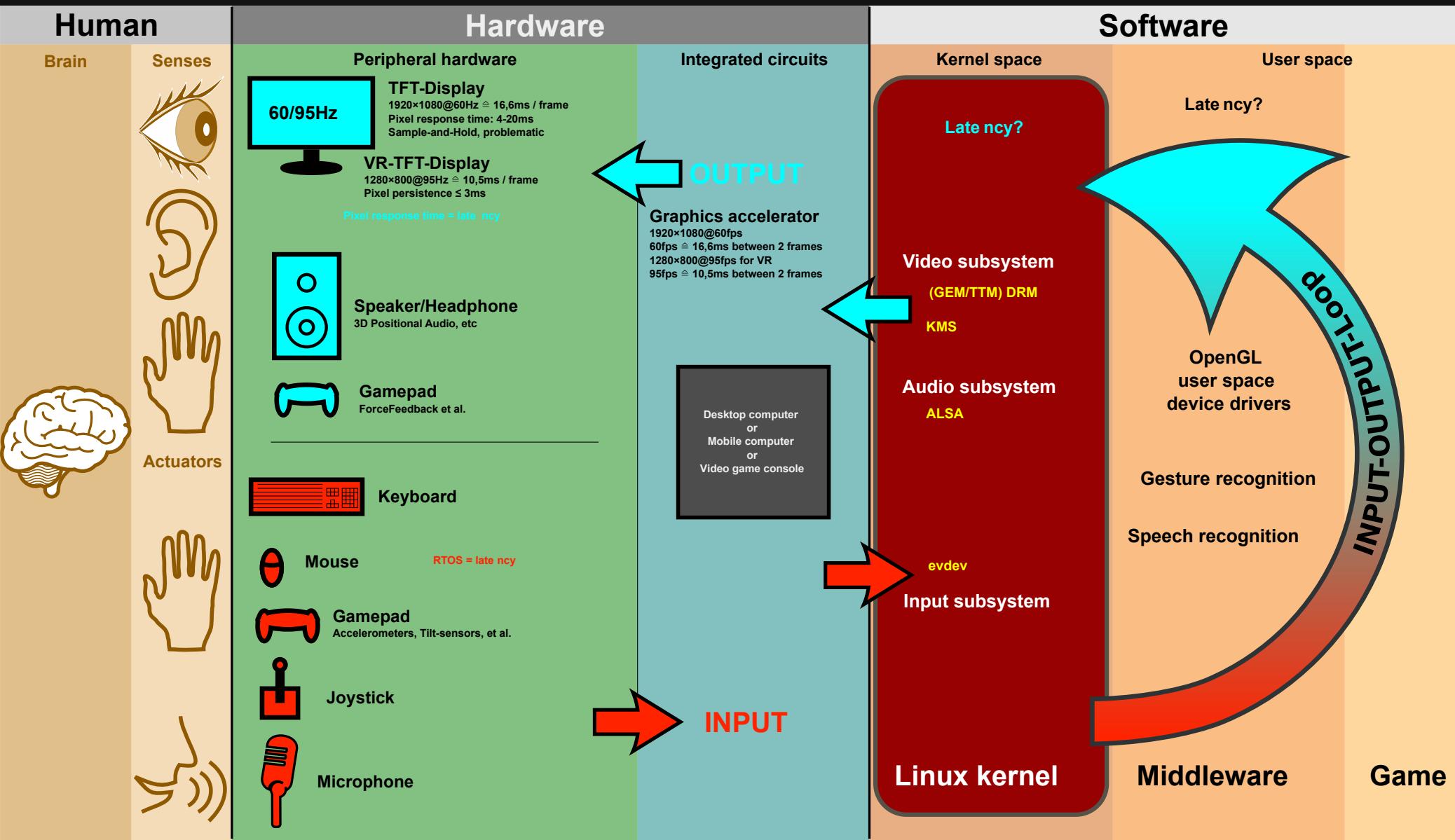
Předpoklady:

- počítačová grafika
- matematika – lineární algebra, trigonometrie
- programování v C++

Organizace předmětu II/II

- Přednášky
 - 1x týdně
- Cvičení
 - 100% účast, výjimečně náhrada
 - odevzdané všechny úlohy do určeného termínu
 - závěrečná práce
- Zkouška
 - písemná a ústní
 - obecná teorie, programátorská teorie

Interaction



Lidské smysly

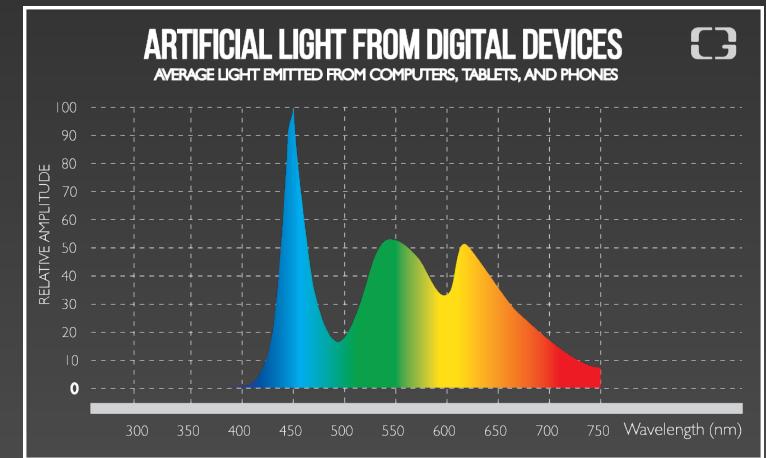
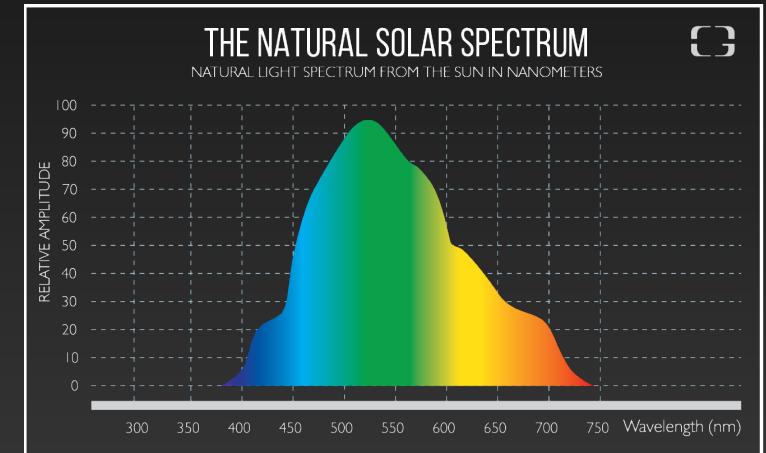
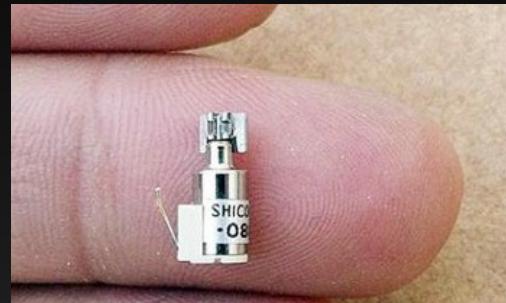
- Smyslové buňky, nahromadění = smyslový orgán
- Tradičních pět smyslů
 - Zrak – oko
 - Sluch – ucho
 - Hmat – mechanoreceptory v kůži
 - Chut' – chemoreceptory na jazyku
 - Čich – chemoreceptory v nose
- Další smysly (vnitřní, nepravé)
 - termoreceptory v kůži
 - akcelerometr – mechanoreceptory ve vnitřním uchu
 - vnímání času – v mozku (rychlé děje) a mezimozku (denní rytmus, na hormonální bázi – melatonin)

Lidské smysly

- Hmat, chut', čich, teplo, rovnováha, čas, ...

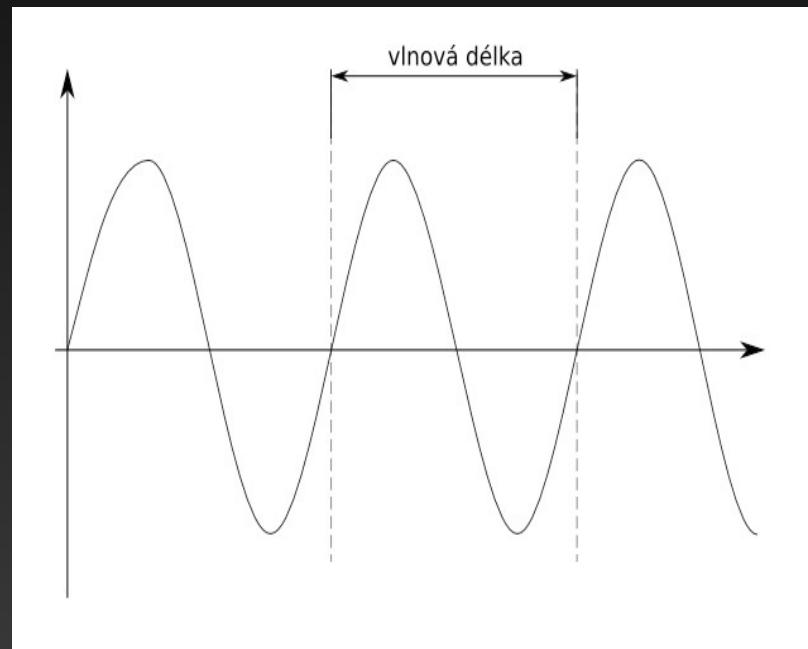


Lidské smysly



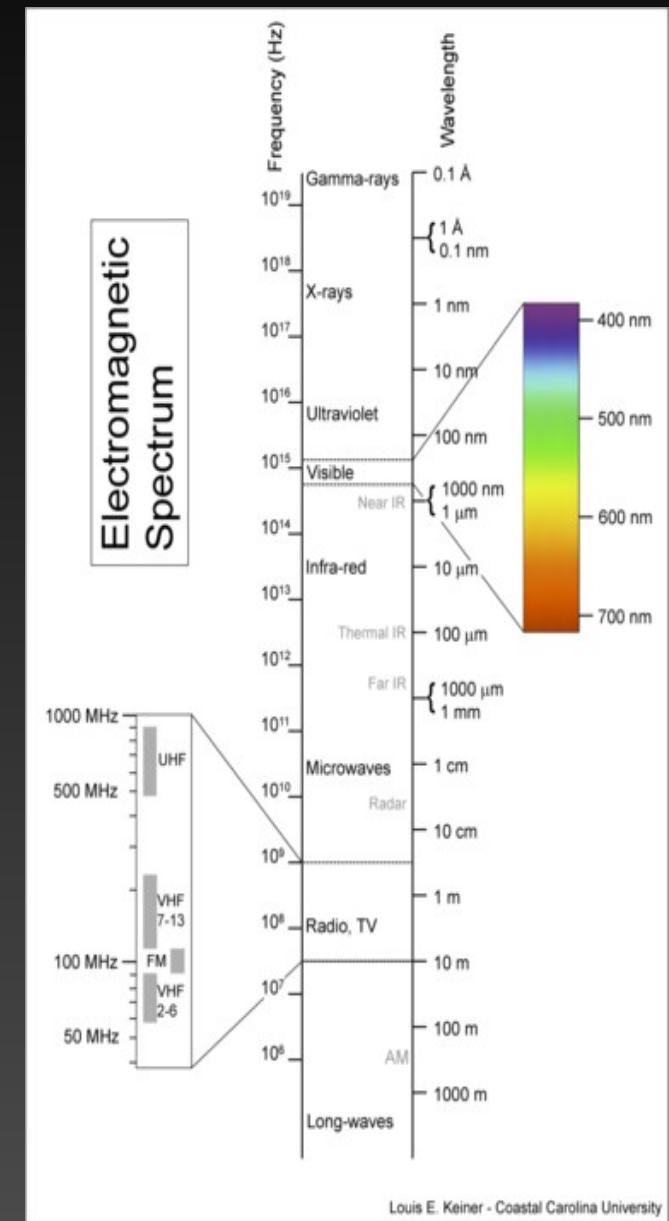
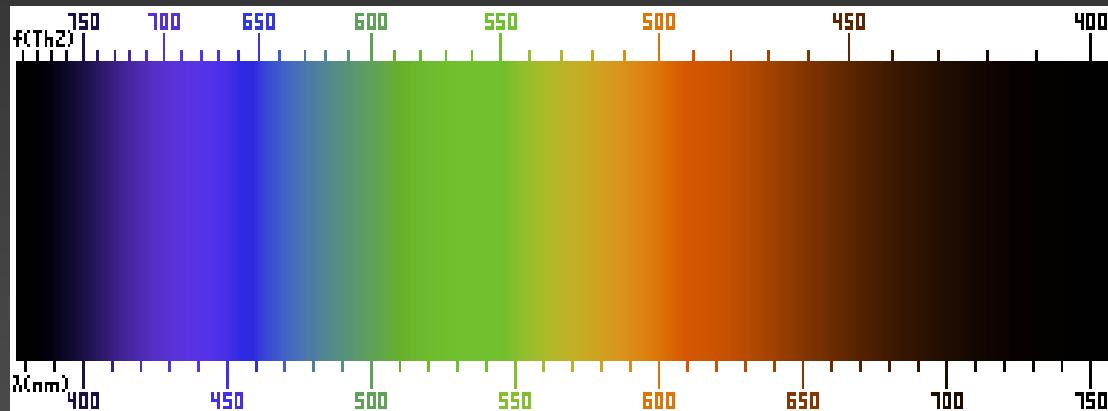
Zrak a světlo

- Podstata světla
 - Elektromagnetické záření
 - Korpuskulární charakter
 - Vlnění, foton
 - Rychlosť světla
 - $c = 1\ 079\ 252\ 848,8$ km/h
 - Vlnová délka



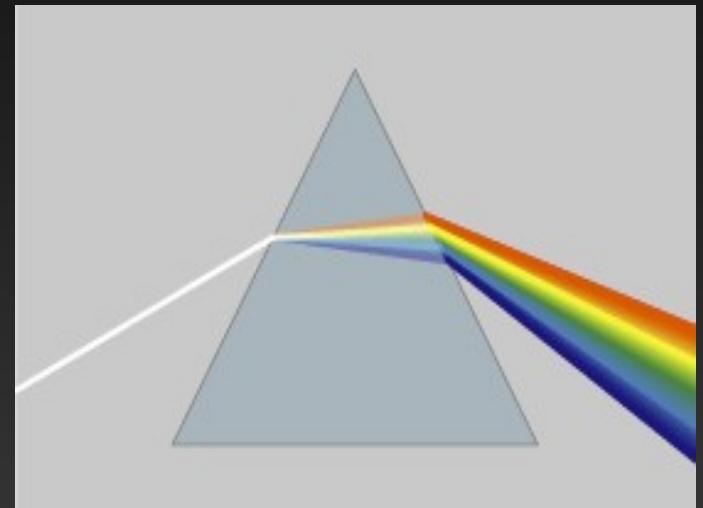
Elektromagnetické spektrum

- Rádiové vlny
- Mikrovlny
- Infračervené záření
- Viditelné světlo
 - Úzký pás z elektromagnetického spektra
 - $\lambda = 390\text{nm} - 750\text{nm}$
- Ultrafialové záření
- Rentgenové záření
- Gama záření



Světelné efekty

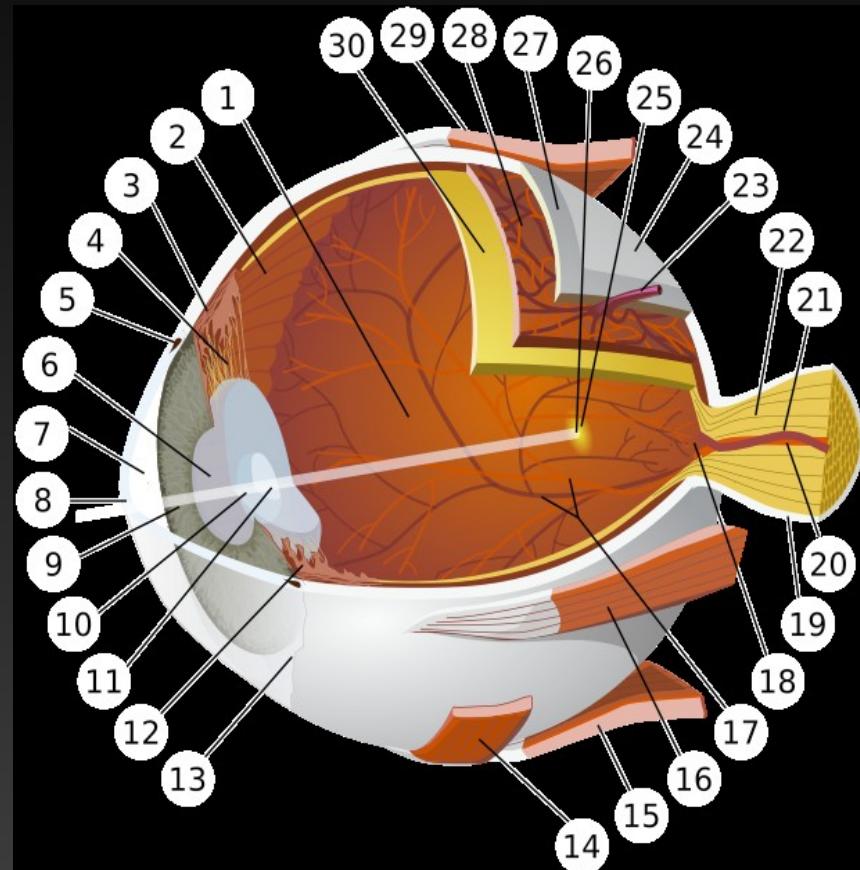
- Odraz
 - Lom
 - Disperze (duha)
 - Difrakce (ohyb)
 - Interference
 - Polarizace
 - Fluorescence
 - Luminiscence
-
- Pro interaktivní zobrazení obvykle příliš obtížné



Lidské oko

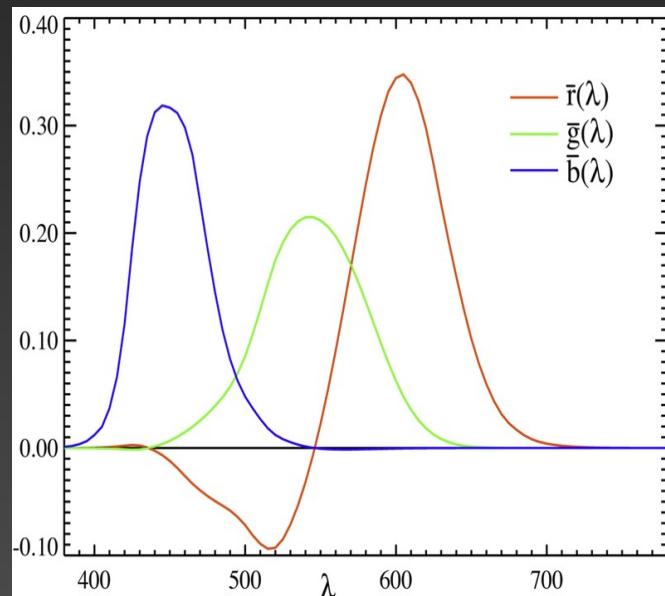
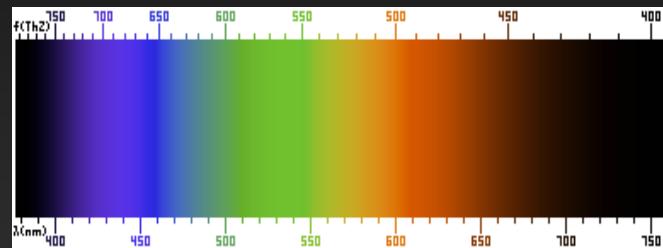
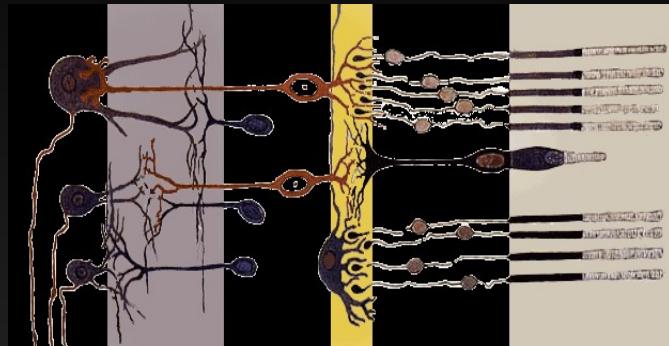
Lidské oko

- Rohovka
- Duhovka
- Čočka
- Sklavec
- Sítnice
 - Tyčinky
 - Čípky
- Oční nerv
 - Slepá skvrna



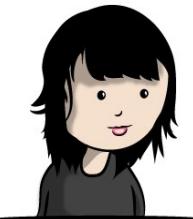
Tyčinky a čípky

- Tyčinky
 - Černobílé vidění
 - Vysoká citlivost
 - $\sim 120'000'000$
- Čípky
 - Barevné vidění
 - $\sim 6'000'000$
 - Hlavně ve žluté skvrně
 - Červený, modrý, zelený
 - Elektrický impuls generován rozpadem rodopsinu (derivát vitamínu A)

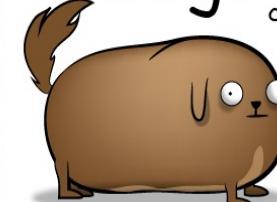


Humans

have three types of color-receptive cones:
Green Blue & Red



Dogs



have two types of color-receptive cones:

Green & Blue



This enables dogs to see blue, green, and a little bit of yellow.

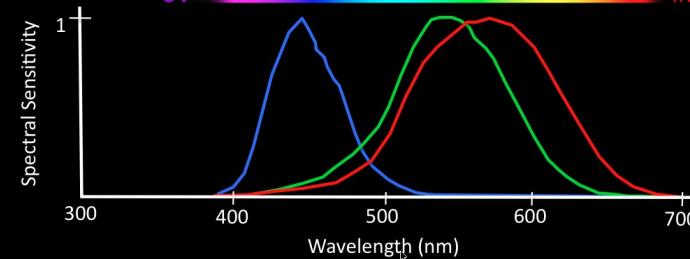
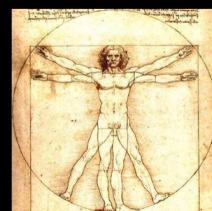
Butterflies

have FIVE types of color-receptive cones:

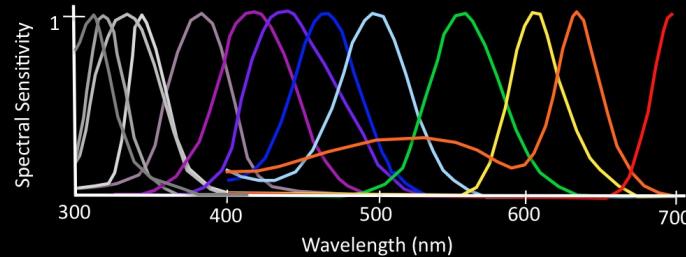


So in addition to seeing two colors we don't have names for, butterflies can see a massive spectrum of color our brains aren't even capable of processing.

Homo sapiens

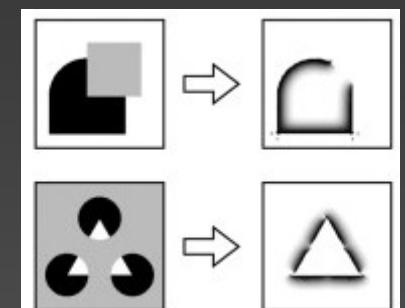
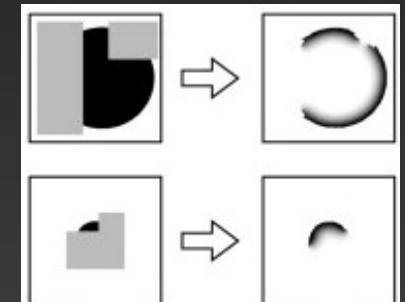
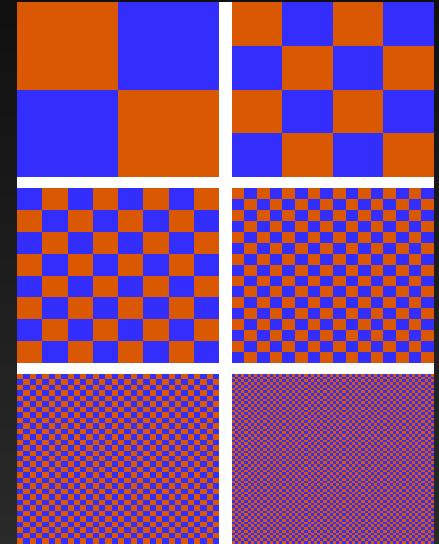


Neogonodactylus oestedii



Oční nerv

- 1 000 000 nervových vláken u každého oka přenáší signál od 120 000 000 senzorů
- Filtrace a komprese obrazové informace již na sítnici
 - Dolnopropustný filtr - dva body blízko sebe se jeví jako jeden bod (princip LCD)
 - Detekce hran – neurony v sítnici komprimují velké oblasti, přenáší se jen hrany



Zrak

- Cca 80% přijímaných informací
 - 70 – 80 GB/s
- Zorné pole
 - závisí na osvětlení, velikosti i barvě objektu
 - horizontálně 180° – 200°
 - vertikálně 140° (75° dolů)
 - centrální vidění
 - jen 6° ostře, zbytek periferní vidění
- Absolutní práh citlivosti je 10^{-19} J = 1 foton
- Minimální zorný úhel = 1 minuta
- Prostorové vidění
 - rozdílný obraz
 - zaostření čočky

Barevný model **RGB**

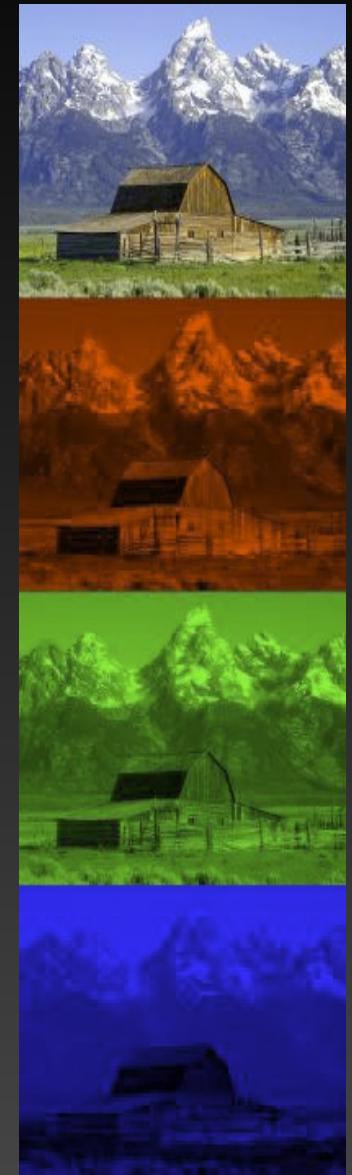
RGB

- nejpoužívanější barevný model
- tři základní barvy
 - RED – červená
 - GREEN – zelená
 - BLUE – modrá
- aditivní míchání barev
- snímání barev
- zobrazení barev
 - ukládání méně



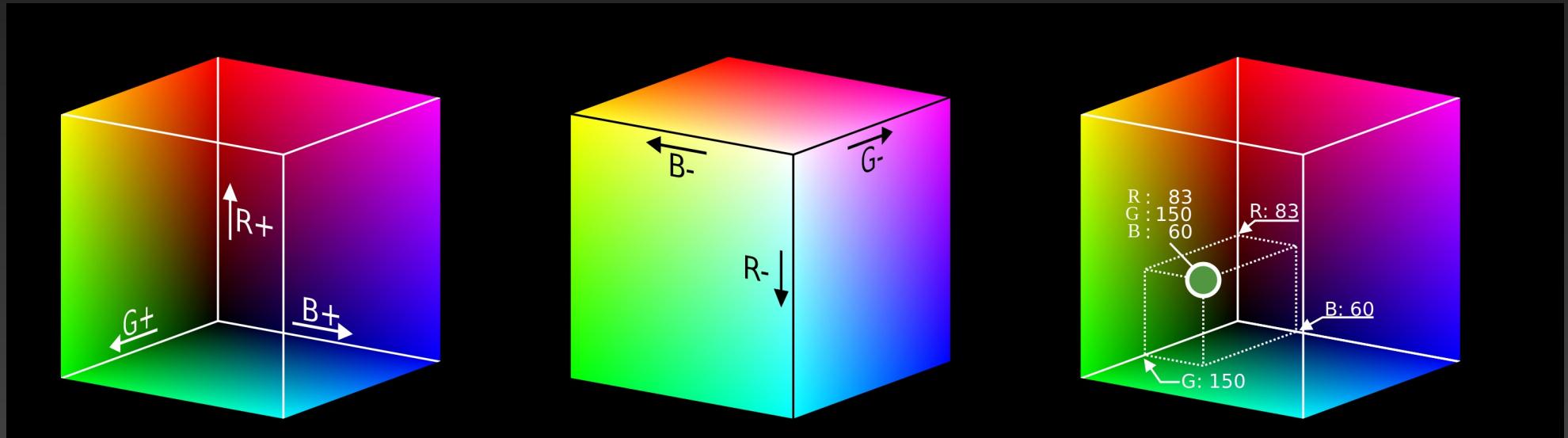
RGB

- rozsah hodnot v jednom barevném kanálu
 - $<0,0; 1,0>$
- bitová hloubka
 - kvantování spojitého rozsahu
 - $8 \text{ bit} = 2^8 = 256 \quad <0; 255>$
 - $10 \text{ bit} = 2^{10} = 1024 \quad <0; 1023>$



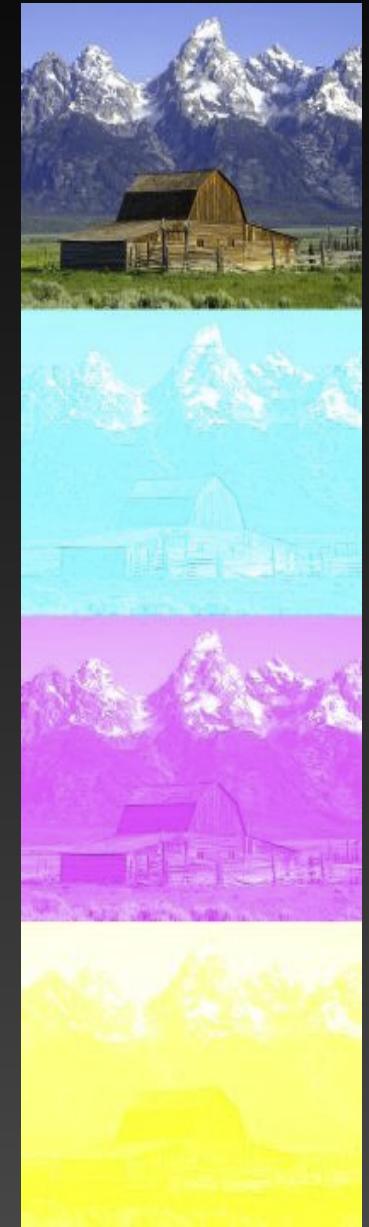
RGB krychle

- Vizualizace barevného prostoru
- Znázorňuje, jak se mění barva při různých hodnotách jednotlivých barevných složek



CMY, CMY(K)

- CYAN - azurová
- MAGENTA - purpurová
- YELLOW - žlutá
- (BLACK – černá)
 - z praktických důvodů (cena, rychlosť schnutí, sytost)
- subtraktivní míchání barev
 - výsledek je z vlnových délek, které zbudou po průchodu filtrem (odrazu)
- především pro tisk



RGB → CMY(K)

- obecně obtížné, velmi rozdílné vlastnosti
(převod přes neutrální prostor)
 - zjednodušeně

$$C = 1 - R$$

$$M = 1 - G$$

$$Y = 1 - B$$

$$K = \text{MIN}(C, M, Y)$$

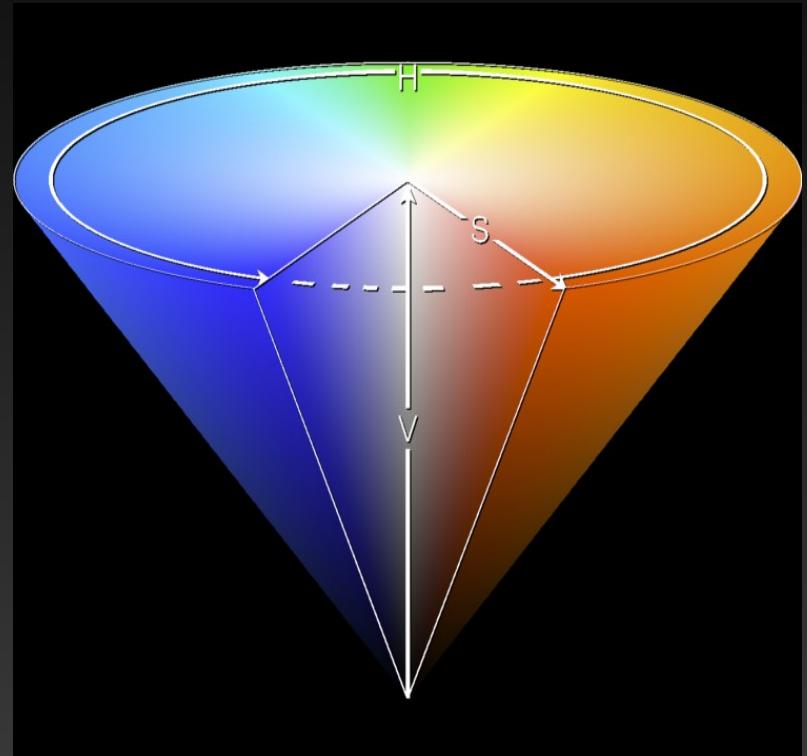
$$C' = C - K$$

$$M' = M - K$$

$$Y' = Y - K$$

HSV

- HUE – barevný tón
- SATURATION - sytost
- VALUE – jas
- slouží pro interaktivní výběr barev
- převod na RGB má podobu algoritmu
- <https://www.google.com/search?q=color+picking>



RGB → HSV

$r, g, b \in [0, 1]$

$\min = \text{MIN}(r, g, b)$

$\max = \text{MAX}(r, g, b)$

$h \dots \text{HUE}$ (barevný tón)

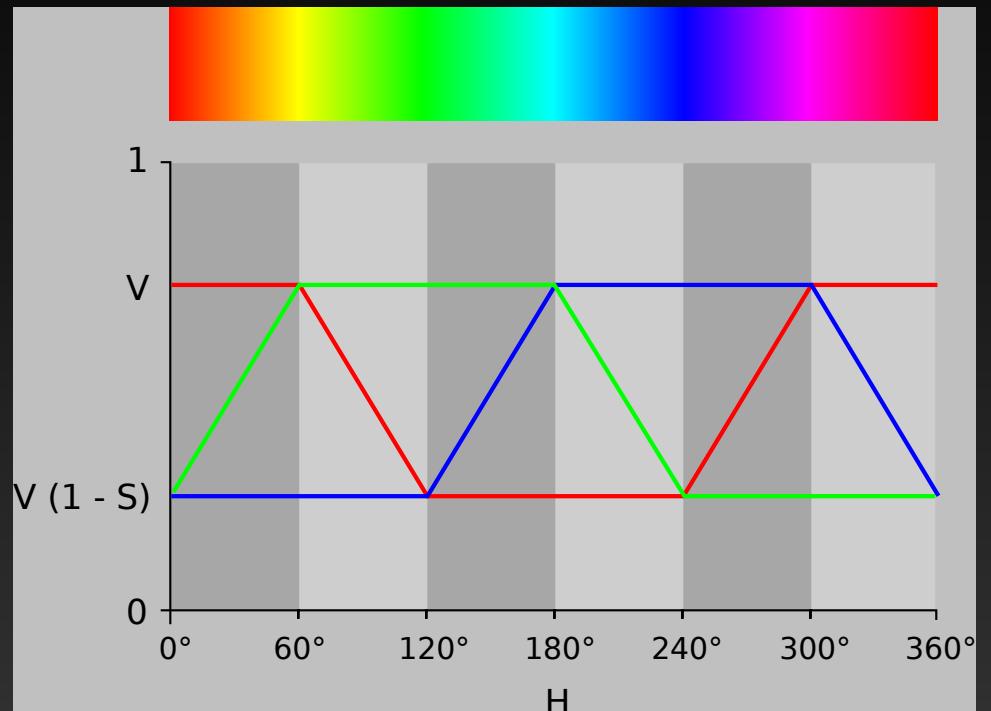
$h \in [0^\circ, 360^\circ]$

if($\max = \min$): $h = 0^\circ$

if($\max = r$): $h = (60^\circ \cdot (g-b)) / (\max - \min) \bmod 360^\circ$

if($\max = g$): $h = (60^\circ \cdot (b-r)) / (\max - \min) \bmod 120^\circ$

if($\max = b$): $h = (60^\circ \cdot (r-g)) / (\max - \min) \bmod 240^\circ$

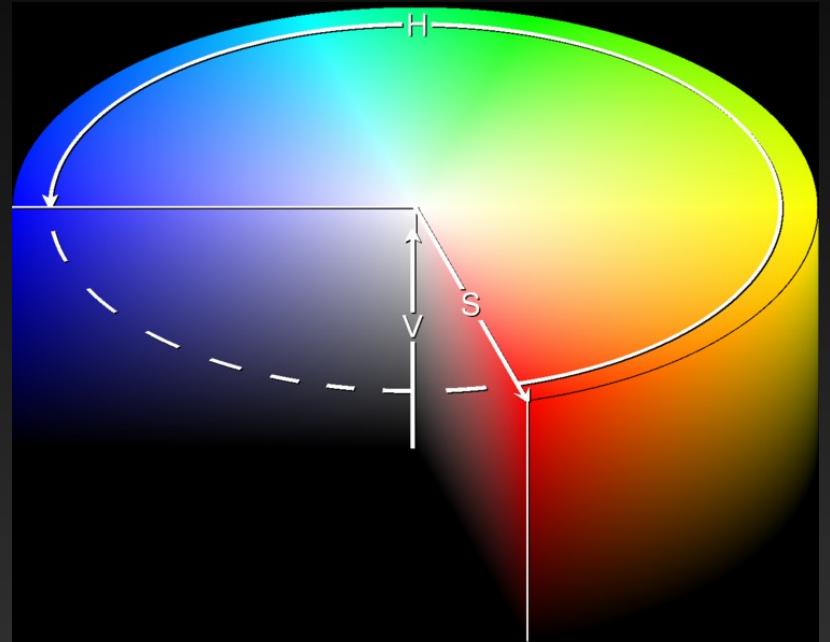


RGB → HSV

- $r, g, b \in <0, 1>$
- $\min = \text{MIN}(r, g, b)$
- $\max = \text{MAX}(r, g, b)$
- s ... SATURATION (sytost)
- $s \in <0, 1>$

if($\max=0$): $s = 0$

else: $s = (\max-\min)/\max = 1 - \min/\max$



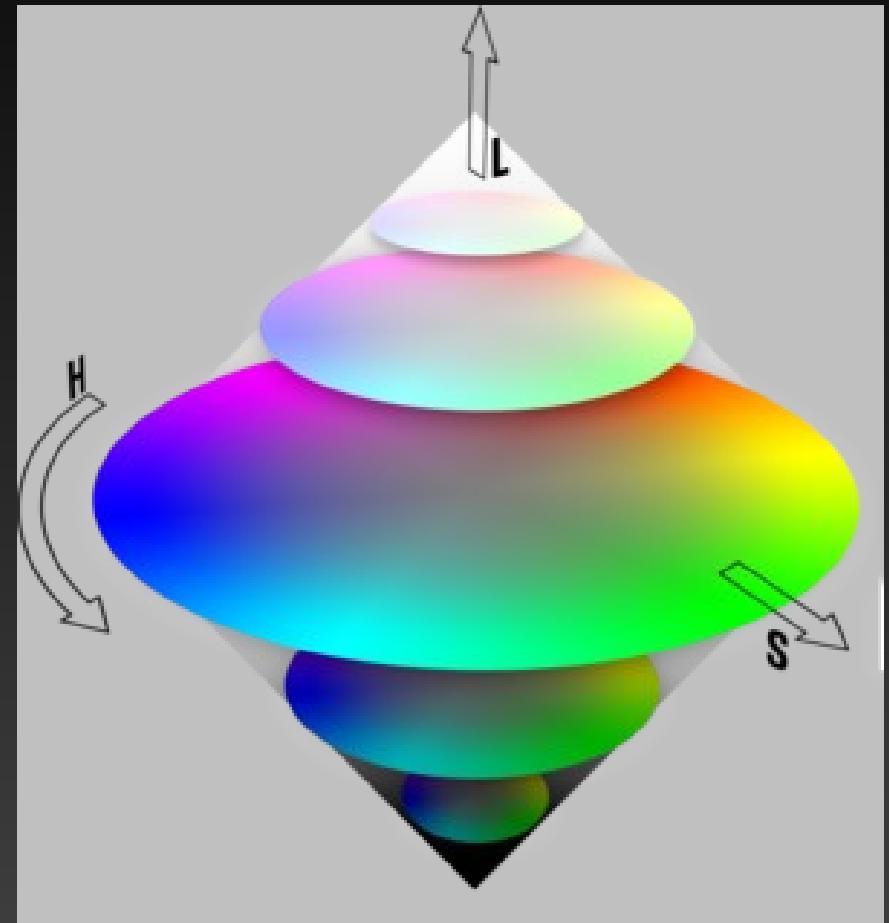
RGB → HSV

- $r, g, b \in <0, 1>$
- $\min = \text{MIN}(r, g, b)$
- $\max = \text{MAX}(r, g, b)$
- $v \dots \text{VALUE (jas)}$
- $v \in <0, 1>$

$$v = \max$$

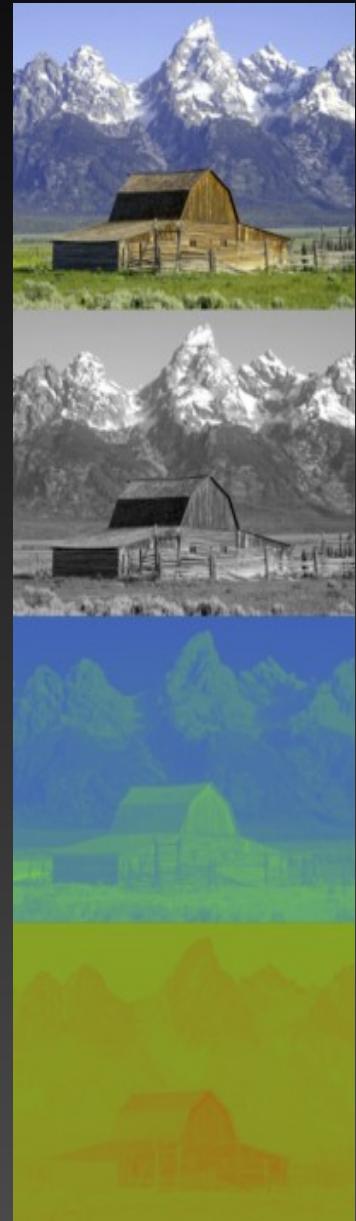
HSL

- HUE – barevný tón
- SATURATION - sytost
- LIGHTNESS – světllost
- Slouží také pro interaktivní výběr barev
- Algoritmus převodu z RGB je podobný převodu RGB na HSV



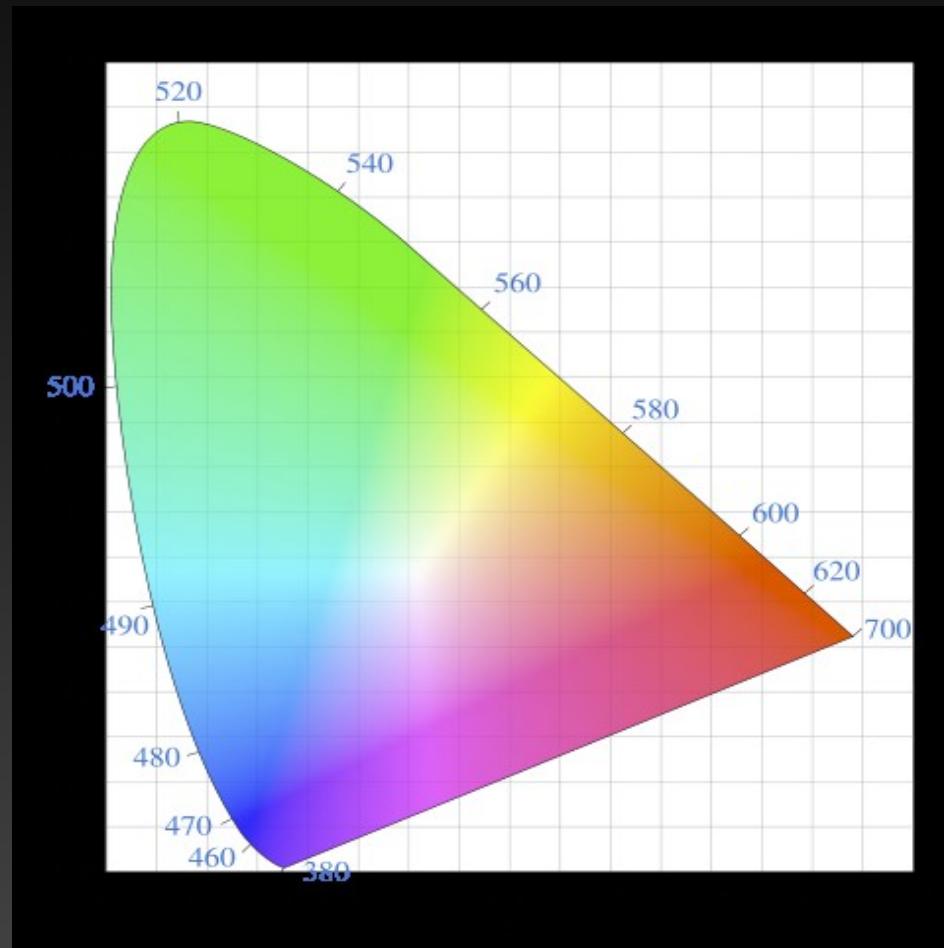
Oddělená jasová složka Y

- Pro snadnější zpracování obrazu
 - více odpovídá vnímání oka
 - umožňuje lepší kompresi
 - nejpoužívanější pro ukládání obrazu
 - JPEG, MPEG, ...
- YUV
 - pro přenos v TV normě PAL
 - $Y = 0,299.R + 0,587.G + 0.114.B$
 - empiricky odvozený vztah (lidské oko)
- YC_BC_R (JPEG,MPEG), YIQ (NTSC), ...



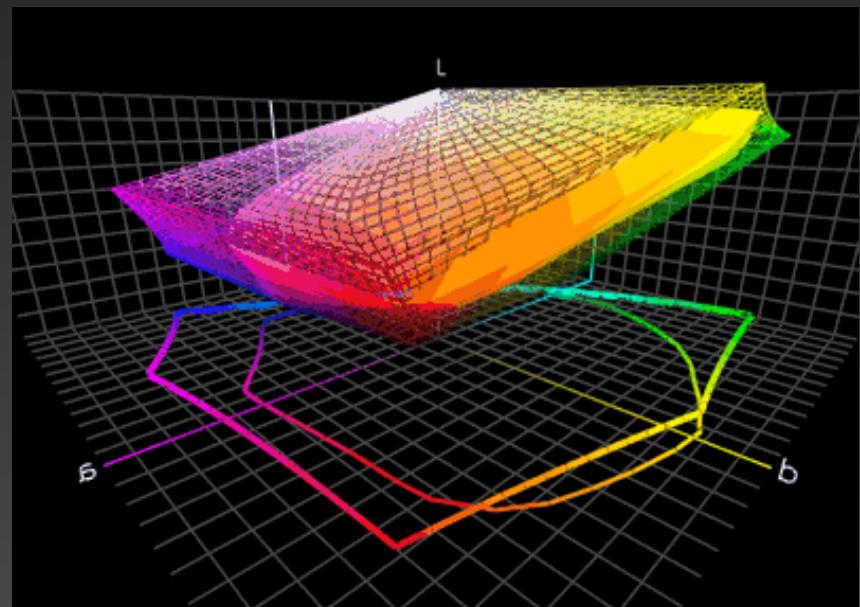
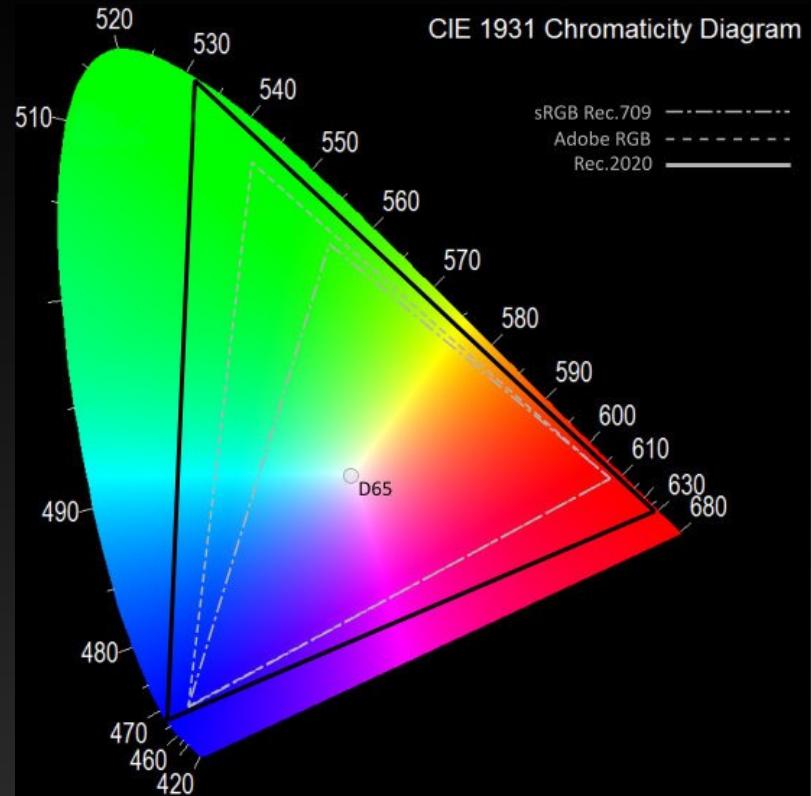
Chromatický diagram CIE XYZ

- abstrakce, matematicky definovaný prostor barev
- nezávislý na lidském vnímání
- obalová spektrální křivka CIE 1931
- CIE xyY, CIE Lab, CIE Luv, ...
- míchání barev, reprezentace gamutu, ICC profily, ...

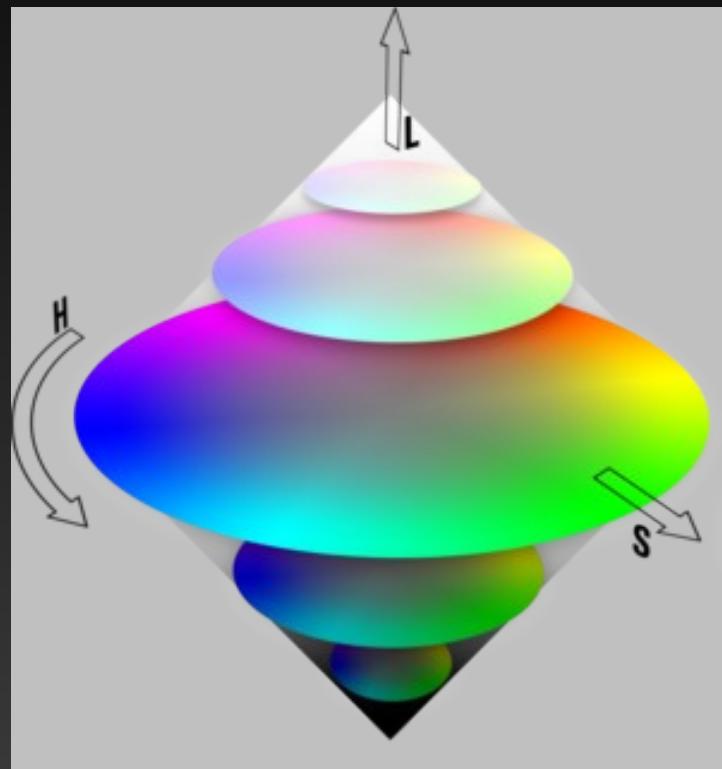
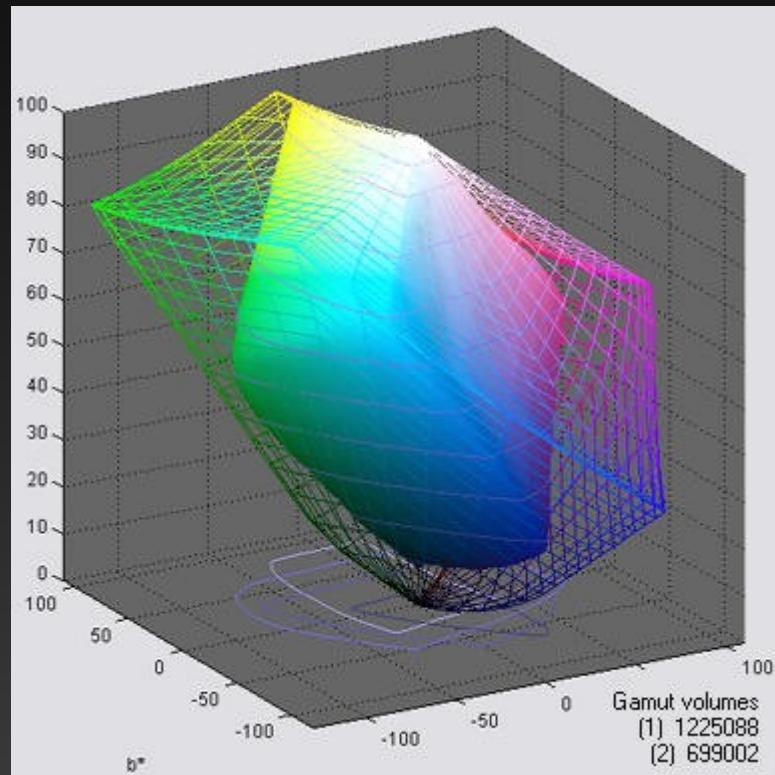


Gamut

- Vyjadřuje jaké barvy je dané zařízení schopné zobrazit případně zaznamenat
- Gamut: 4K TV > LCD > tiskárna (např.)
- sRGB – standard RGB
 - pro domácí a kancelářské použití
 - přibližně správně i bez ICC
 - 8 bit barvy
- AdobeRGB, BT.709 (HDTV), BT.2020 (UHDTV = 4k) a další...



Vzpomeňte...



Proč kalibrace?

- Zdroj = barevný obrázek R8G8B8
 - RGB, každý kanál 8 bitů, tj. 256 úrovní
- Cíl je tiskárna
 - Úkol: vytiskni pixel, červená = 100%



R=255
G=0
B=0



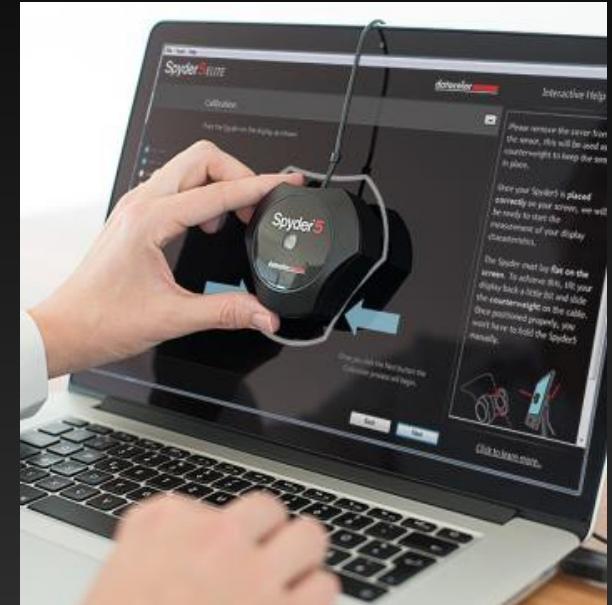
- Nutná převodní tabulka barev konkrétního zařízení
 - ICC profil, převádí RGB na CIExy a to pak na „inkousty“ zařízení
 - ICC i pro vstup (senzor kamery → CIExy → RGB)

ICC

- Standard pro ukládání barevných rozsahů jednotlivých grafických zařízení (monitory, tiskárny, skenery, atd.)
- Pracují s nimi systémy pro správu barev
 - Windows Color System
 - ColorSync (Mac OS X)
 - colord (Linux)

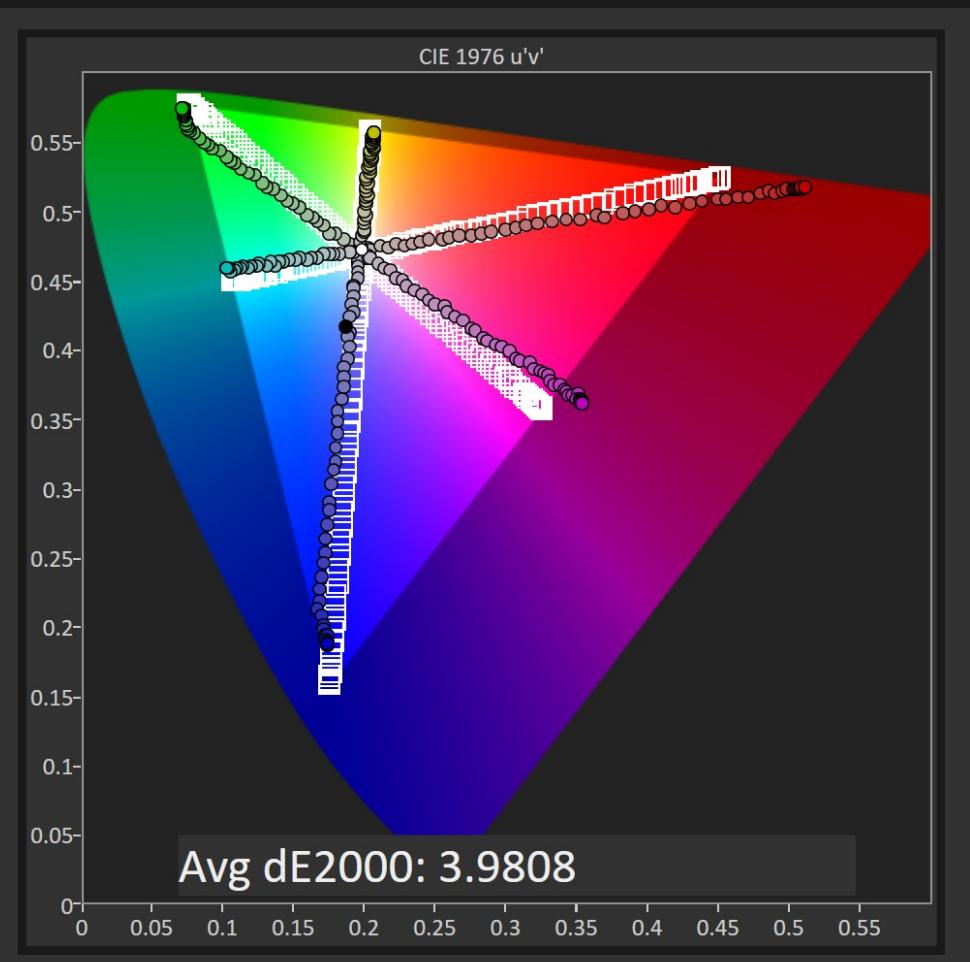
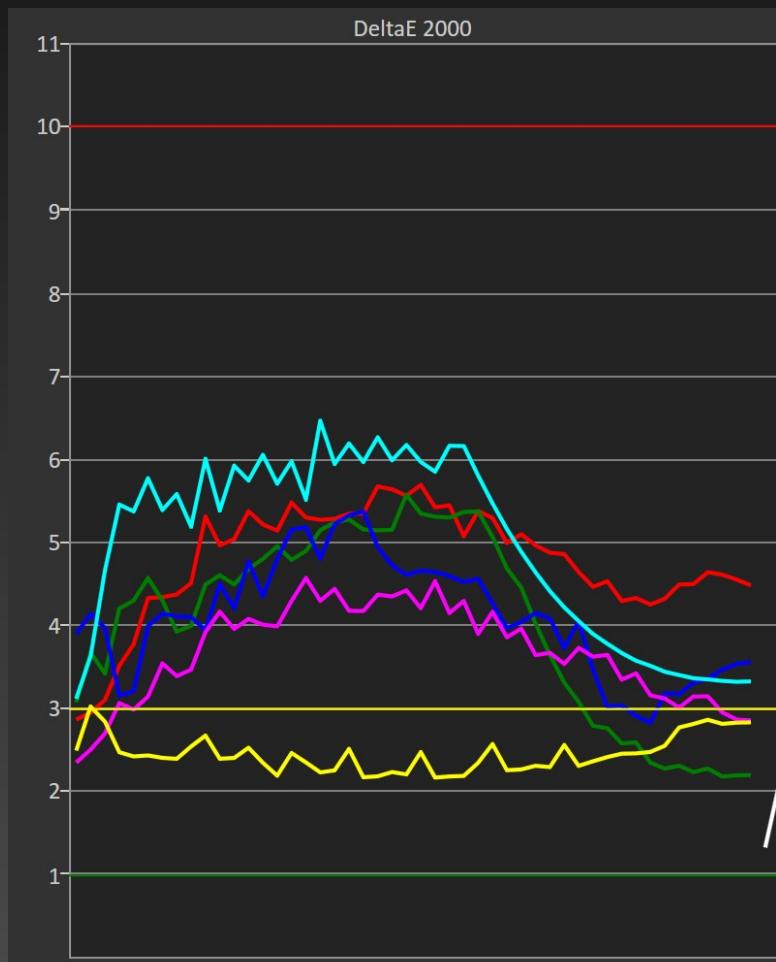
Kalibrace

- závisí na osvětlení
- **ICC profil** od výrobce
- kalibrační sonda
 - vytvoří vlastní ICC profil
 - věrné zobrazení barev
 - monitor
 - finančně (ne)náročné
 - tiskárna
 - finančně náročné
 - fotopapír
- Od oka



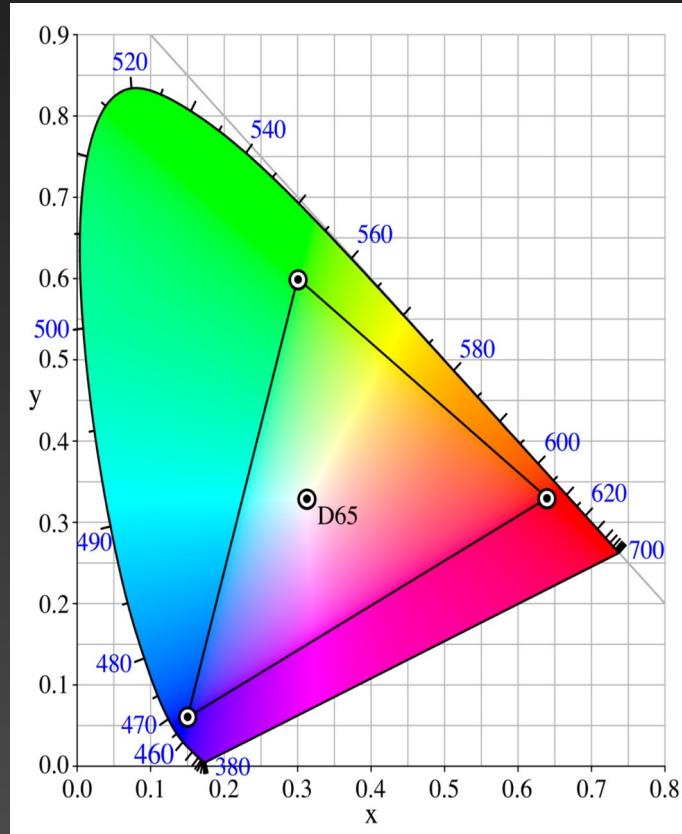
Delta-E (dE) = rozdíl barev

- $dE = 1$ je nejmenší viditelný rozdíl
- kalibrací je snaha minimalizovat dE



Demo (?)

<http://www.echalk.co.uk/amusements/OpticalIllusions/colourPerception/colourPerception.html>



Obrazové formáty

Rozdělení

Využití

Obrazová informace

- Podle způsobu uložení
 - Rastrové obrázky
 - nekomprimované
 - komprimované
 - ztrátově
 - neztrátové
 - Vektorové obrázky
- Podle způsobu zobrazení
 - Druh zařízení
 - PC, TV, smartphone... (různý výpočetní výkon, rozlišení, ...)
 - Doba uložení
 - budu chtít obrázek prohlížet za 20 let?
 - Typ úložného zařízení
 - lokálně x web (tj. pomalý přenos limitovaným kanálem)



Obrazová informace

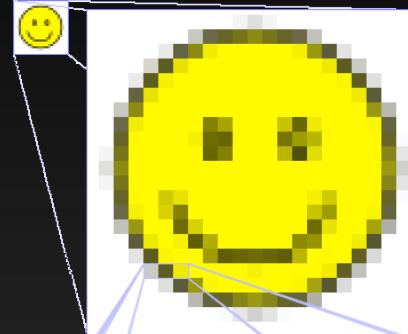
- Podle dynamiky
 - statický obrázek
 - proměnný obrázek
 - se stejnou prodlevou snímků – film
 - s různou prodlevou snímků – animace
- Podle dimenze
 - 2D obrázky
 - 3D obrázky (scény)

Obrazové formáty

Důležité pojmy

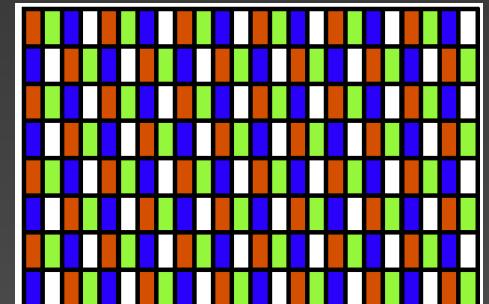
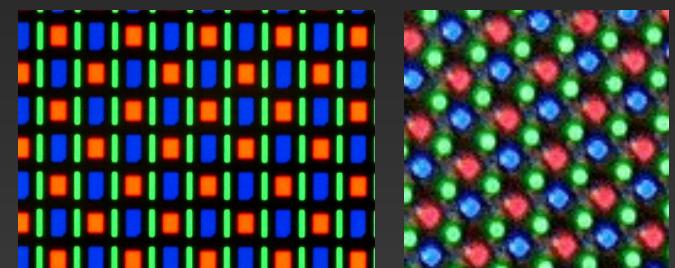
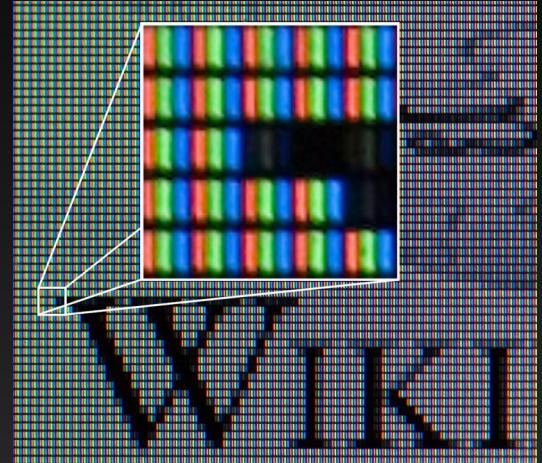
Rastrová grafika

- Mřížka bodů stejné velikosti s danou barvou
- Problémy při transformacích → nutná filtrace
 - Zvětšování
 - viditelné čtverce z pixelů
 - zmenšování
 - aliasing, moire
 - rotace
 - vznik „schodů“
- Velké paměťové nároky
- Malé nároky na CPU (pokud není komprese)
- Běžně HW akcelerace



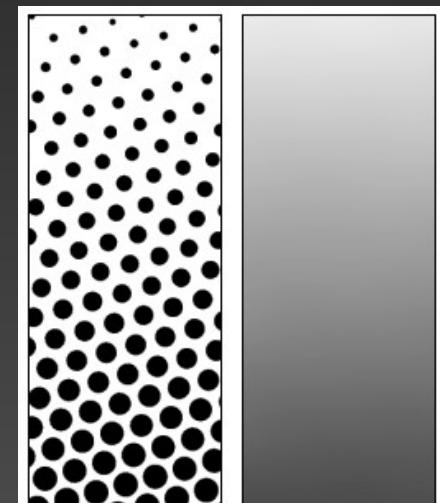
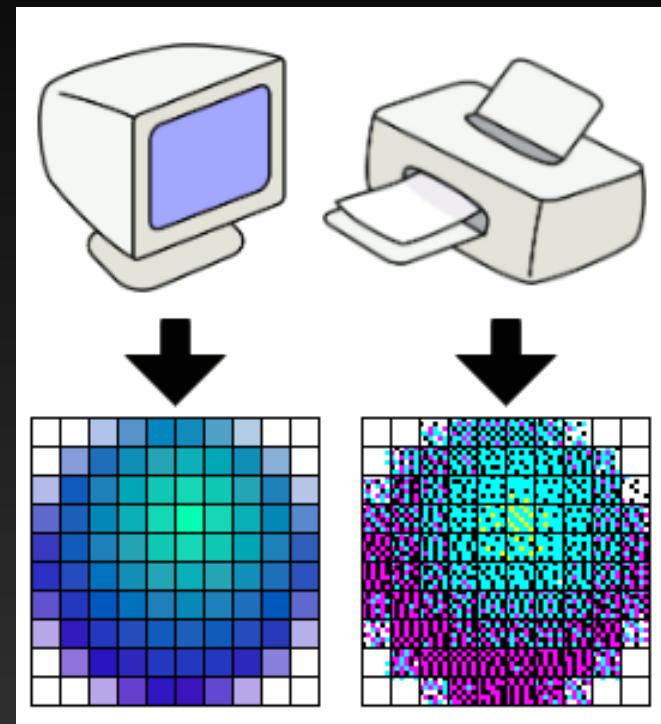
Pixel

- Picture element
- Nejmenší jednotka rastrové grafiky
- Jeden bod rastrového obrázku
- Jeden svítící bod na monitoru
 - složený ze subpixelů
 - Typicky RGB, ale i RGBW a jiné
- Barevná hloubka
 - 8bpp, 16bpp, **24**bpp, 32bpp, 48bpp
 - bit per pixel



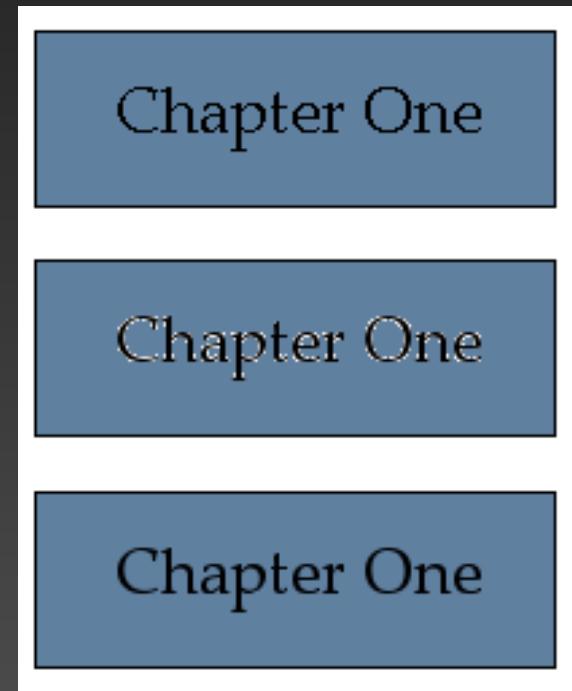
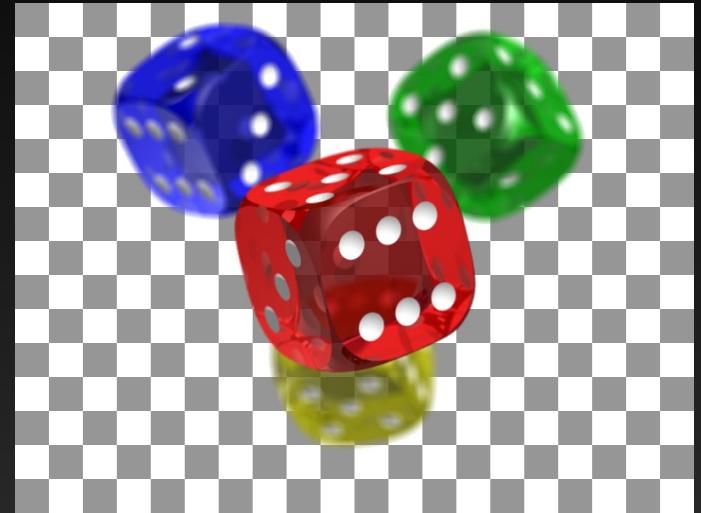
Rozlišení

- SPI
 - Sample per Image
 - u skenerů
 - vhodné min. 1,5x – 2x víc než výstupní zařízení
- DPI
 - Dots per Inch
 - u tiskáren
 - min. 400 – 600 DPI pro čb.
- PPI
 - Pixels per Inch
 - u monitorů
 - 72 (Apple), 96 (MS), dnes HiDPI 200+
- LPI
 - Lines per Inch
 - tisk novin, časopisů
 - noviny 85 LPI, časopisy 300 LPI



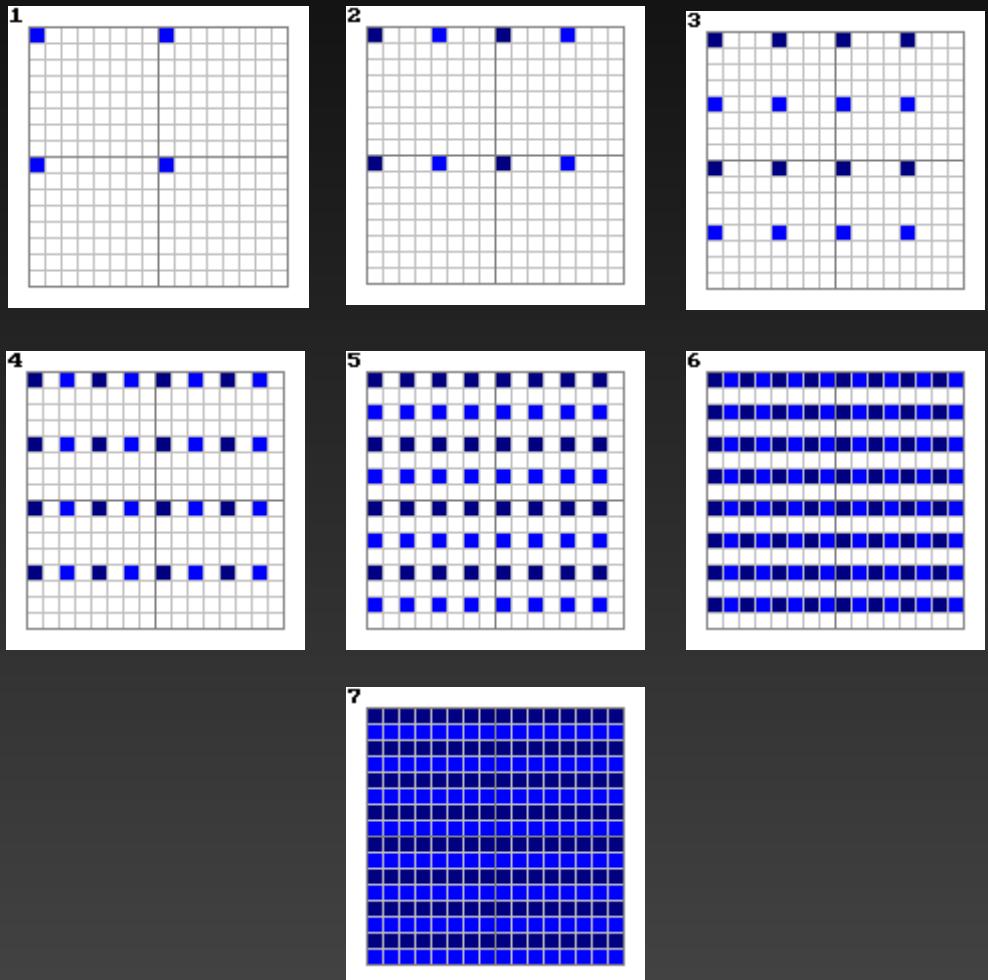
Alfa kanál

- Určuje NEprůhlednost daného pixelu = **KRYTÍ**
- Rozsah:
 - 0 – 1 (1 bit)
 - maska průhlednosti
 - 0 – 255 (8 bitů)
 - 255 – neprůhledný
 - 128 – poloprůhledný
 - 0 – průhledný
 - 0,0 – 1,0
 - 1,0 – neprůhledný
 - 0,0 - průhledný
- Skládání více obrázků
- Animace – GIF



Prokládání dat

- Pro průběžné vykreslování dat v průběhu načítání
 - postupné zvyšování kvality, zaostření
- Různé algoritmy
 - interlancing (GIF)
 - adam7 (PNG)
 - progressive (JFIF)

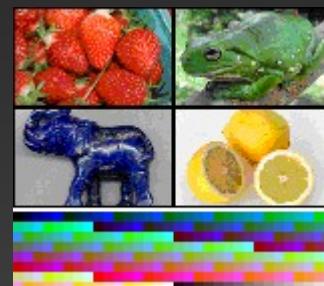


Obrazová paleta

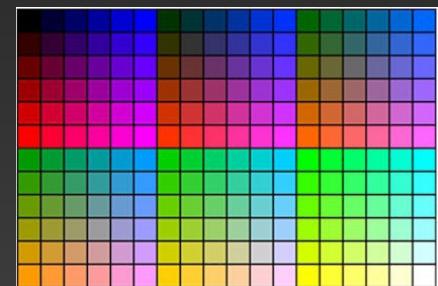
- Barva pixelu se nevyjadřuje přímo pomocí barvy, ale pomocí indexu do barevné palety
- Paleta
 - tabulka barev použitelných v daném obrázku
 - běžně 2-256 položek
 - položka v paletě typicky 24bpp RGB
 - adaptivní palety (součást obrázku)
 - neadaptivní, standardní palety (web-safe apod.)



Obrázky s adaptivní paletou



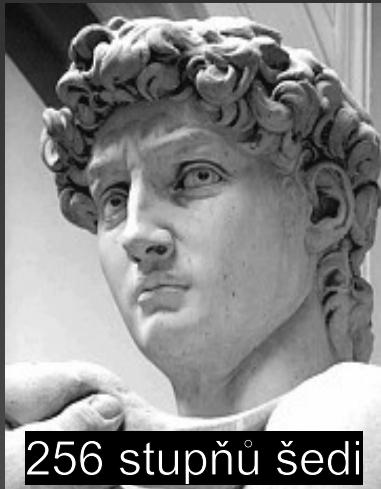
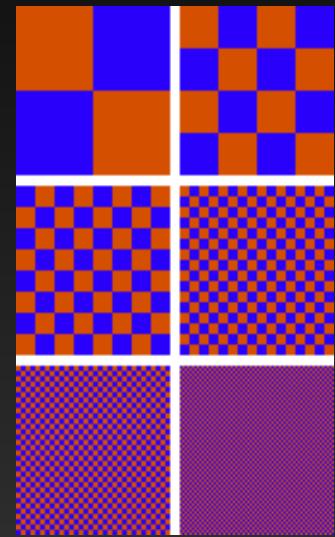
Obrázek s neadaptivní paletou



Web-safe paleta

Dithering (rozštřesení)

- Malé body blízko sebe oko filtruje - vytváří se dojem jednolité plochy
- Rozměr bodu nutný pro slití závisí
 - na vzdálenosti
 - rozlišení oka
- Dolnopropustní filtr



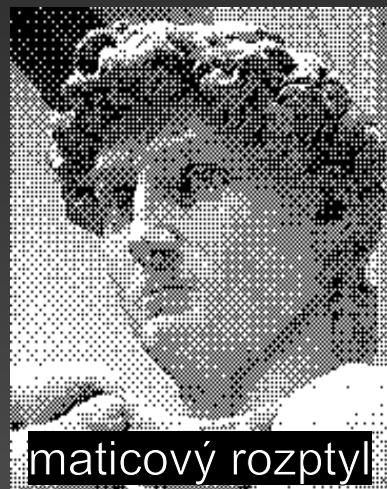
256 stupňů šedi



čb - prahování



náhodný rozptyl

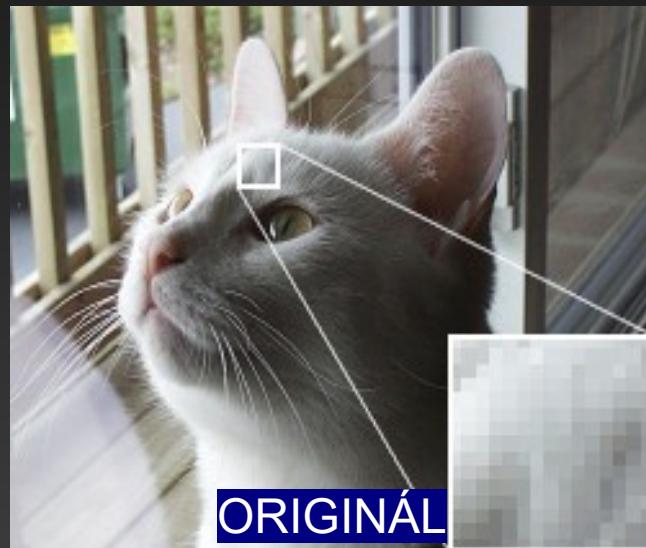


geometrický rozptyl



Floyd-Steinberg

Příklad: kombinace barevných palet + ditheringu



ORIGINAL



NEADAPTIVNÍ
+ DITHERING



ADAPTIVNÍ
+ DITHERING



NEADAPTIVNÍ
+ DITHERING



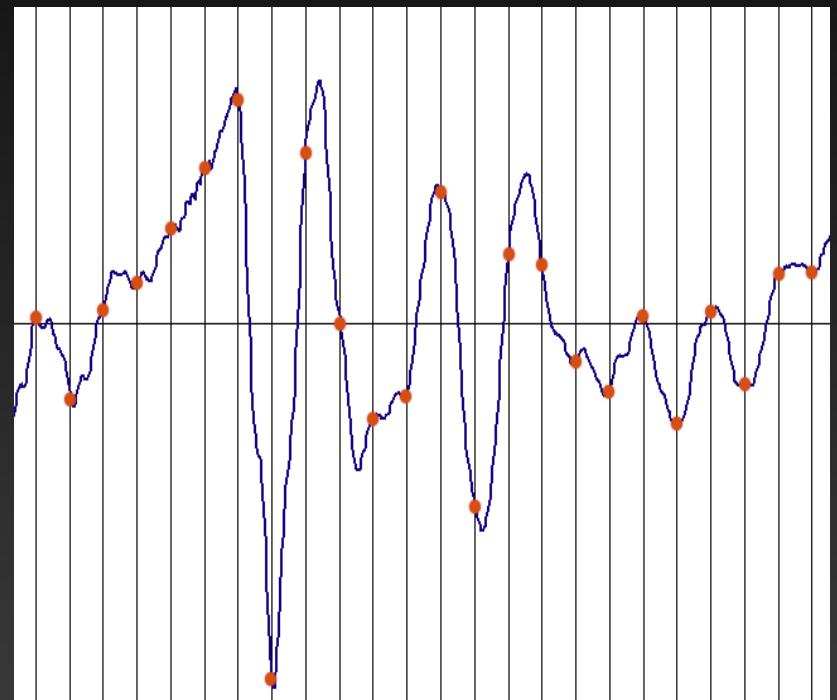
ADAPTIVNÍ
+ DITHERING

Resampling - převzorkování

- Vzorkovat lze jen spojitý signál...
 - interpolace: Diracův impuls jako digitalizační filtr
 - filtrace: digitalizační filtr s nenulovou plochou (např. čtverec, konus)
- ... ale data jsou už navzorkovaná (rastr).
 - hledáme spojitu approximaci diskrétního signálu
 - approximace může být znova navzorkována s jinou frekvencí

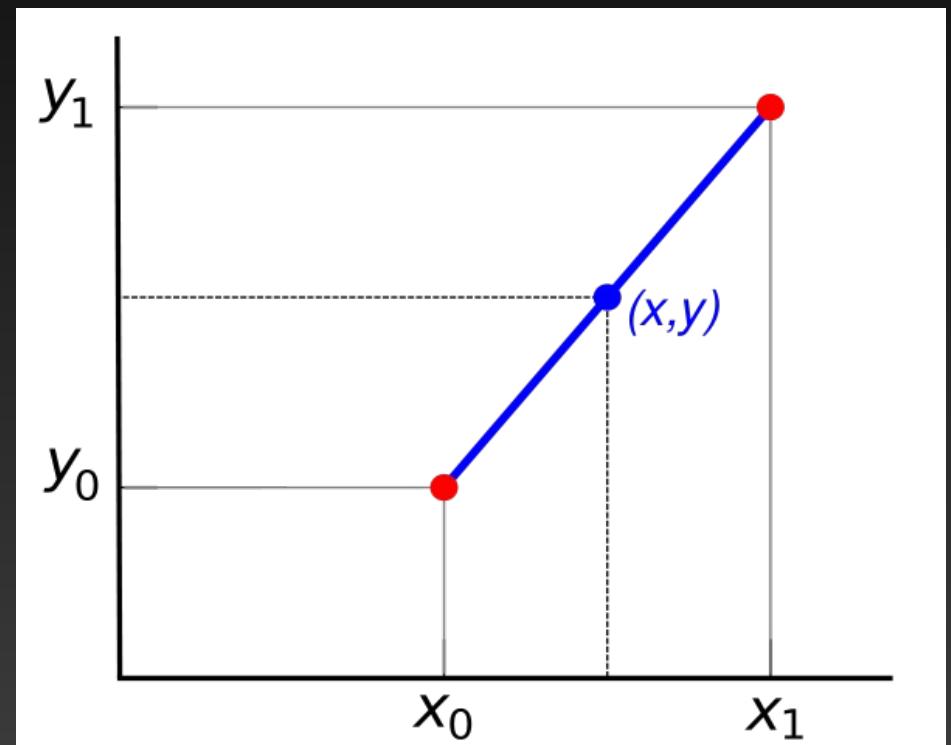
Rekonstrukce

- Získání spojitého signálu z už navzorkovaného
 - Nearest neighbour
 - Linear (bilinear)
 - Cubic (bicubic)
 - Lanczos
 - Sinc (optimum, teor.)



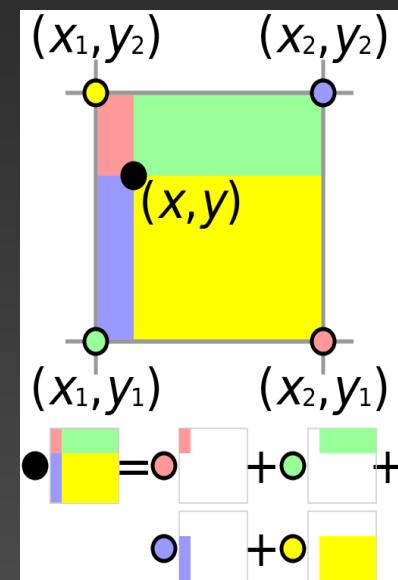
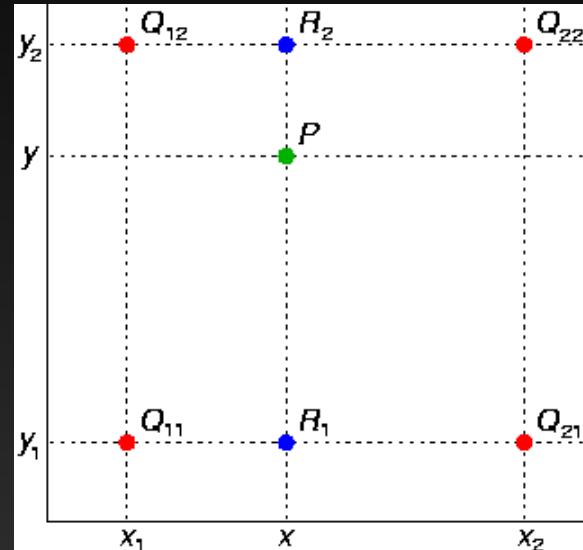
Lineární interpolace

- Interpolovaná hodnota vybraná proporcionálně podle vzdálenosti od původních hodnot
- Nejjednodušší (př. pro jednu dimenzi)



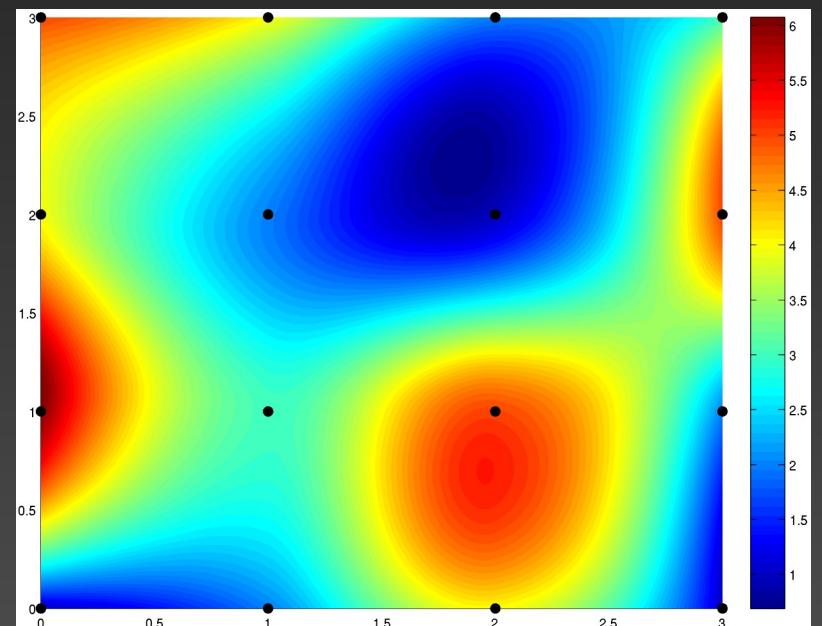
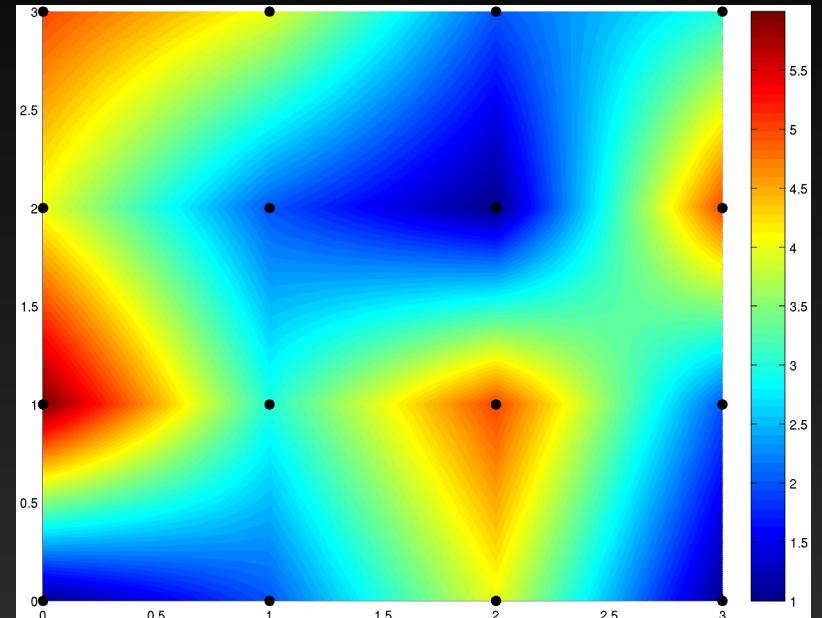
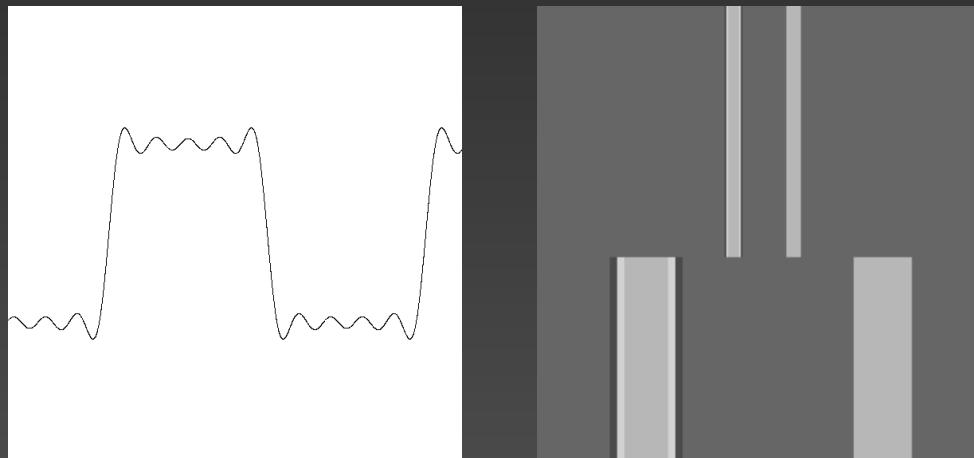
Bilineární interpolace

- Lineární interpolace dvou proměnných
 - $X, Y \rightarrow 2D$
- 4 sousední vzorky
- 3 lineární interpolace
- Rozmazává hrany (text, čáry, ...)



Bikubická interpolace

- Spline-based
- 16 sousedních vzorků samples
- výpočetně náročná
 - 16 rovnic o 16 neznámých
- Plynulejší
- Méně artefaktů
 - zachovává detaily
- Generuje překmity



Změna rozlišení

- Rekonstrukce obrazu převzorkováním
 - nejbližší soused (nearest neighbour)
 - bilineární interpolace
 - kubická interpolace, atd.
- Nová vzorkovací frekvence může být
 - vyšší → zvětšení
 - nižší → zmenšení
- Interpolátory neustále využívány v GPU
 - specializovaný HW blok

Dynamický rozsah

- Udává počet úrovní pro jeden barevný kanál
- Počet úrovní je určen počtem bitů, které slouží pro uložení barevného kanálu
 - 1 bit ... 2 úrovně (černá/bílá)
 - 6 bitů ... obyčejné LCD displeje (TN)
 - 8 bitů ... 256 úrovní
 - 10 bitů ... lepší LCD displeje (S-IPS), UHD-TV
 - 12 bitů ... 4096 úrovní (digitální zrcadlovky)
 - 16 bitů ... 65 536 úrovní (half-float, rendering)
 - 32 bitů ... přes 4 miliardy úrovní (float)

Obrazy s vysokým dynamickým rozsahem – HDR

- Rozsah jasu 0 – 255 někdy nestačí
 - potřebujeme rozlišit velké množství jasových úrovní
 - LCD 1:1000, DSLR 1:4000(6000), negativ 1:5000(8000)
 - oko až 1:16000
 - nutné více bitů na pixel (36bpp, 48bpp ...)
- Velký kontrast ve scéně
 - tmavý kout a svíčka (žárovka, slunce ...)
- Problém **mapování tónů** do rozsahů zobrazitelných běžnými monitory
- Využití: osvětlování virtuální 3D scény, postprocessing filmové produkce
- OpenEXR, Radiance HDR, LogLuv TIFF ...

Chasing the human vision system

Human Dynamic Range

Color Contrast

Capture

Post
Production

Mastering

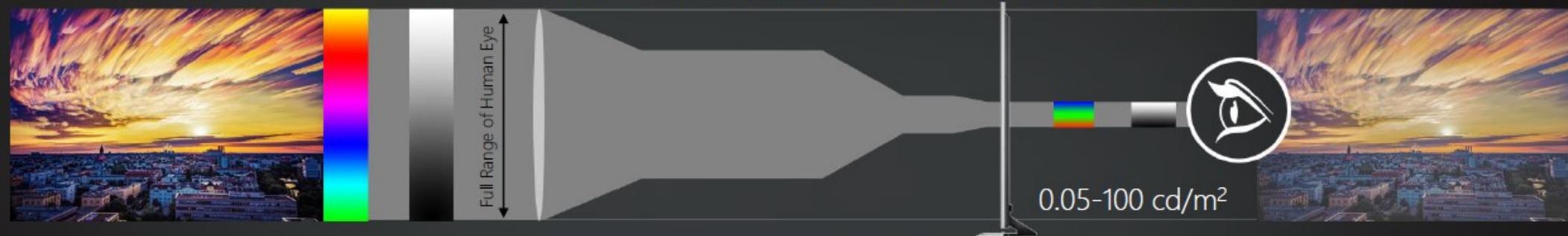
Distribution

Display

What Viewer Sees

Color Contrast

SDR



Human Dynamic Range

Color Contrast

Capture

Post
Production

Mastering

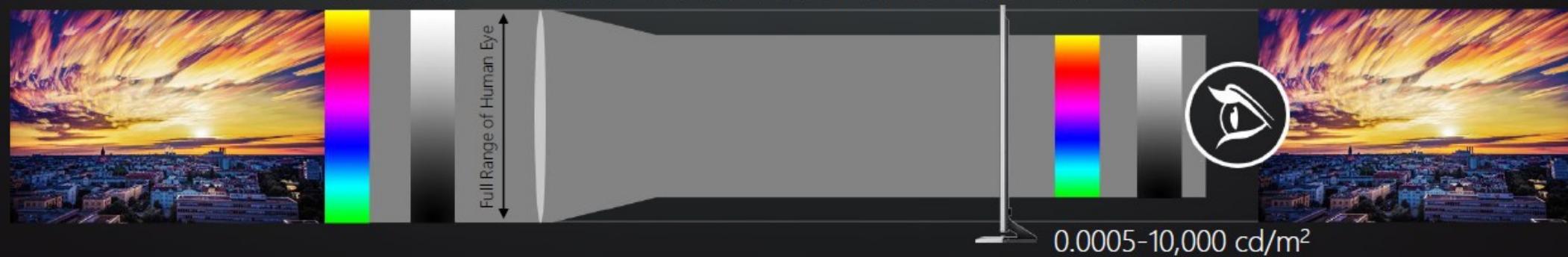
Distribution

Display

What Viewer Sees

Color Contrast

HDR



HDR



HDR rendering



Mapování tónů (globální vs. lokální)

např. gamma komprese $V_{out} = A \cdot V_{in}^{\gamma}$



Komprese rastrových dat

- data [byte] = šířka * výška * bpp / 8
 - např. fullHD rozlišení: $1920 \times 1080 \times 24/8 = \text{cca } 6 \text{ MB}$
 - nutné komprimovat
- **Bezeztrátová komprese**
 - RLE kódování (např. TGA, JFIF)
 - Statistické (Huffmanovo, aritmetické) (např. JFIF)
 - LZW (Lempel-Ziv-Welch) (např. GIF)
 - Deflate (např. PNG)
- **Ztrátová komprese**
 - využívá nedokonalosti lidského zrakového aparátu
 - vyšší citlivost na jas než na barevnou informaci
 - DCT (diskrétní kosinová transformace, JFIF)
 - Wavelety (vlnková transformace, JPEG2000)

Běžné (zajímavé) 2D rastrové formáty

PBM, PGM, PPM (PAM)

- Pro skriptování a pokusy
- Nejjednodušší formáty
- Bez komprese
- Textová i binární verze
- **PBM** – Portable Bitmap
 - 1 bpp (jen černobílé)
- **PGM** – Portable Greymap
 - 8bpp – 16bpp (256 – 65535 stupňů šedi)
- **PPM** – Portable Pixmap
 - 24bpp – 48bpp (TrueColor a víc)
- **PAM** – Portable Anymap
 - složitější hlavička

```
P1
# toto je komentář - B/W bitmapa
# rozměry 256 x 256
256 256
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0
1 0 0 0 0 0 0 ...
```



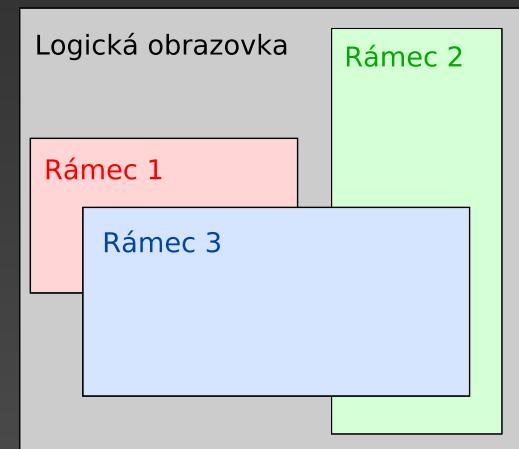
```
P3
# PPM - barevný obrázek
# rozměry 625 x 576
# max. hodnota složky je 255
625 576
255
224 136 122 224 136 122 224 136 124
122 224 136 122...
```

BMP

- Microsoft (Windows), IBM (OS/2)
- Zbytečně komplikovaný formát
 - několik verzí hlaviček, mění se význam položek...
- **Neúsporný** – zbytečné položky, komprese zvětšuje
- Možnosti
 - paleta (několik formátů)
 - 1bpp - 24bpp (16,7 miliónů barev)
 - průhlednost (některé verze, nedokumentováno)
- Volitelně jednoduchá komprese
 - příliš se nepoužívá, omezení na vybrané režimy
 - algoritmus RLE – špatně navržený
 - může obrázek i výrazně zvětšit!
 - Huffman – snad nikde ...
- **Běžné použití: nekomprimovaný 24bpp RGB**

GIF

- Graphics Interchange Format
- Účinná **neztrátová komprese LZW**
- Barevná **paleta** s 256 barvami na jeden rámec
- Možnost **více rámců** v jednom obrázku
 - Samostatná paleta pro každý rámec
 - možnost simulace TrueColor
 - Umožňuje vytvářet jednoduché **animace**
 - postupné zobrazování rámců se zpožděním
- **Prokládání** – přenesen každý 8, 4, 2, 1 řádek
- Jednobitový **alpha** kanál
 - jedna barva v paletě může být plně průhledná
- LZW do roku 2004 patentováno → vymáhání licenčních poplatků → vývoj PNG
- **Běžné použití:** krátké, jednoduché **animace**



PNG

- Portable Network Graphics, náhrada za GIF
- Jednoduchý, velmi dobře dokumentovaný formát
- Účinná (ale pomalejší) **neztrátová komprese** (deflate)
- **Prokládání** Adam7
- Barvové profily **ICC**, **gamma** korekce
- Možnosti
 - Barevná paleta (256 položek z RGBA)
 - 8bpp – 16bpp stupně šedi
 - 24bpp – 48bpp RGB, RGB + **Alpha** kanál
- **Běžné použití: statické obrázky ve vysoké kvalitě**
- Ale:
 - **neumí** animace (MNG, APNG)
 - pro velmi jednoduché obrázky je větší (1x1 B/W)

TIFF

- Tagged Image File Format
- Komplikovaný a 'funkčně' bohatý formát (kontejner)
 - Neztrátová i ztrátová komprese – RLE, LZW, JPEG...
 - Speciální komprese pro čb. obrázky – faxy (CCITT)
 - Nejrůznější bitové hloubky (1bpp – 64bpp)
 - RGB, CMYK, YCbCr, CIE L*a*b, RAW
 - Vysoký dynamický rozsah (HDR)
 - Vícestránkové dokumenty
 - Ukládání naskenovaných materiálů, faxů
- Problémy s kompatibilitou
 - příliš složitý
 - několik verzí formátu (aktuálně v.6)
 - každý program implementuje jen něco
- Běžné použití: pokud potřebujeme speciality

JFIF/JPEG

- Formát souboru = JFIF
 - JPEG File Interchange Format
 - Data obrázku + dodatečná data (metadata)
 - EXIF data (expoziční časy, datum, GPS...)
 - náhledový obrázek
 - audio stopa, textový popis ...
- Formát komprese = JPEG
 - Joint Picture Experts Group
 - JPEG může být i v TIFF
- Vhodné pro ukládání fotografií, skenů
- Nevhodné pro ukládání grafů, textu, screenshotů
 - rozmazání + artefakty na ostrých hranách, liniích

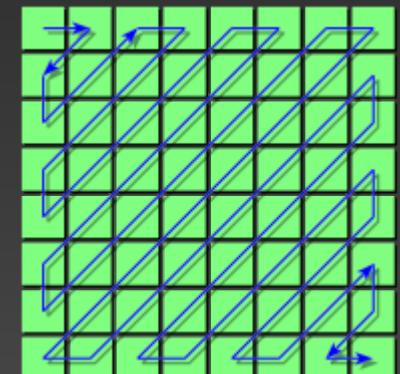
JPEG

- Nejedná se o souborový formát ale o metodu **ztrátové komprese**
- Možnosti
 - 8bpp, 12bpp – stupně šedi
 - 24bpp, 36bpp – RGB
 - umožňuje i neztrátovou kompresi – není běžné
 - hierarchická komprese – více rozlišení (mapy)
 - možnost prokládání
- Komprese v blocích 8x8 pixelů
- **Běžně: ztrátové 24bpp RGB bez hierarchie, často prokládání**



Kroky komprese JPEG

- 1) Převod do barevného prostoru YCbCr
 - jas + dva barvové kanály
- 2) Převzorkování barev (4:4:4, 4:2:2, **4:2:0**)
 - **ztráta informace**: 75% barvy
- 3) Rozdělení obrázku do makrobloků 8x8
- 4) DCT: Diskrétní kosinová transformace
 - převod do frekvenční oblasti
- 5) Kvantizace pomocí kvantizační tabulky
 - **ztráta informace**:
vysoké frekvence = detaily
- 6) Linearizace (zig-zag)
- 7) RLE kódování (**neztrátové**)
- 8) Huffmanovo nebo aritmetické kódování
(neztrátové)

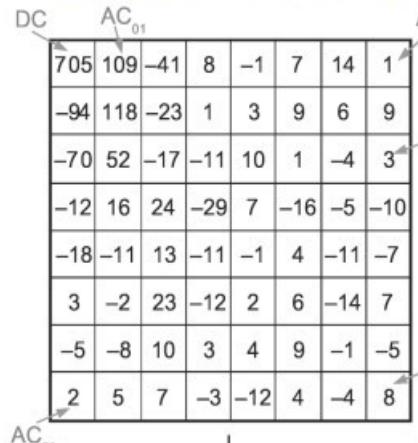


Originální obraz



Dekompozice

$$\begin{aligned} Y &= 0,59R + 0,30G + 0,11B \\ Cr &= -0,17R - 0,33G + 0,5B \\ Cb &= +0,5R - 0,42G - 0,08B \end{aligned}$$



Antizační tabulka

Koefficienty kvantizační tabulky, zde pro kvalitu 50 %, mohou být násobeny konstantou σ , která určuje míru ztrátovosti.

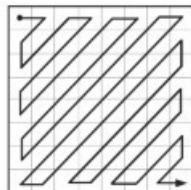
Kvantizace ←

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Kvalita Q:

$$1 \leq Q \leq 50, \alpha = 50 / Q,$$

Linearizace



44, 10, -8, -5, 10, -4, 1, -2,
4, -1, -1, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 0,
1, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, ...

RLE kódování nul

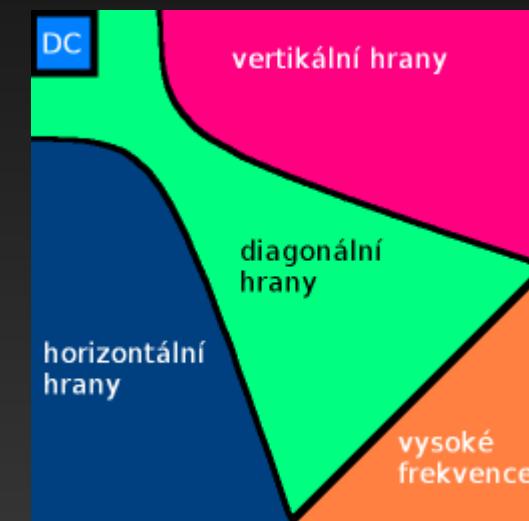
(nul / kateg. / hodnota)

44; (0/4/10), (0/4/-8), (0/3/-5),
(0/4/10), (0/3/-4), (0/1/1), (0/2/-2),
(0/3/4), (0/1/-1), (0/1/-1), (0/1/1),
(0/1/-1), (5/1/1), (5/1/-1), **EOF**

Huffmanovo kódování
(pouze AC členy)
► 101111001011011110001010111100100011001010110

► 1011110010110111100010101111001000110010101100100000000010001111010111110100101

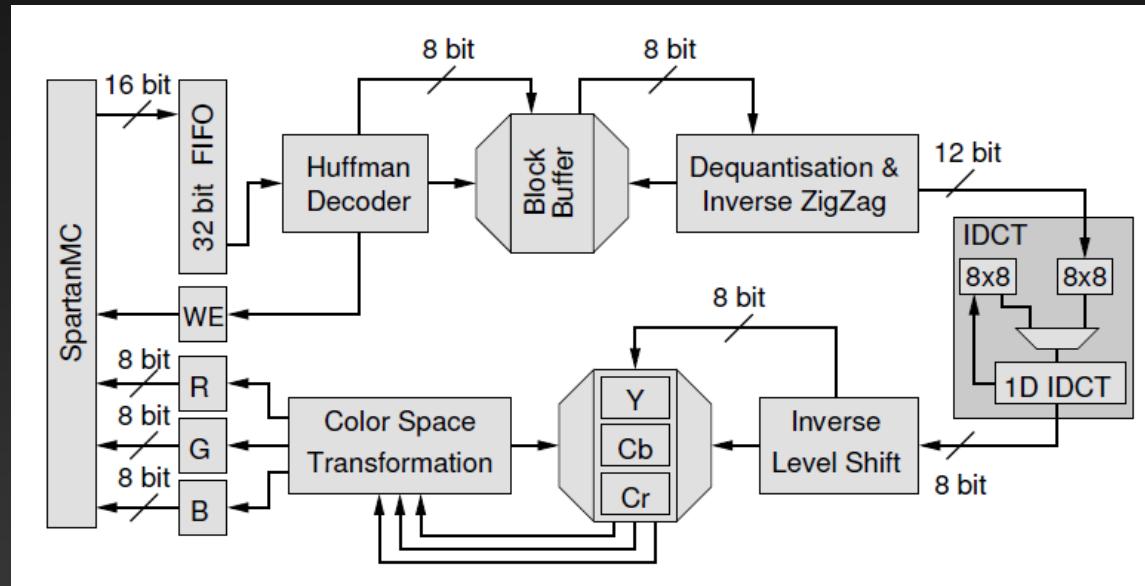
bitový tok →



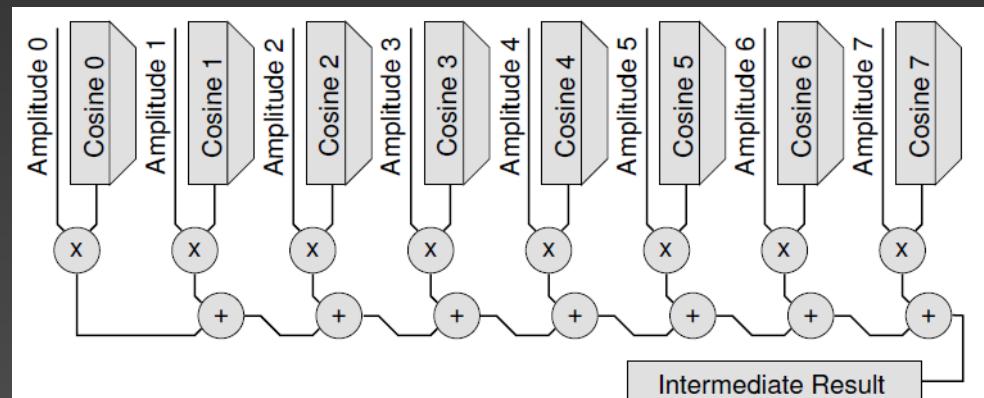
Hardware JPEG dekodéru

- JPEG algoritmus navržen s ohledem na HW realizaci (jednoduché kroky, pipeline, ...)

Cely
dekodér
(příklad)



1D DCT



Nástupci JPEG

- Odvozené z videa
 - HW podpora v mobilních zařízeních (rychlosť, spotreba)
 - Větší schopnosti, vyšší kvalita → pravděpodobně budoucnost
- HEIF
 - Apple, Google, Microsoft; patentovaný
 - odvozený z 1 snímku z video formátu HEVC (h265)
 - 4:4:4 (plné barvy), HDR, dlaždice, 10bit, alpha
 - obrázky i sekvence, náhledy, metadata
- WebP
 - Google, otevřený formát, hlavně web
 - odvozený z 1 snímku z video formátu WebM (VP8)
 - ztrátový i neztrátový, RGBA8
 - makrobloky, YCbCr, DCT, Huffman, metadata

Pokrok mezi video kodeky (a tedy i statickými snímky)

- H.264 Vs H.265

H.264/AVC

16x16 Macroblock



Block coding structure

3 Intra partitioning



4 Inter partitioning



+4 sub-partitioning 8x8



2 Transform sizes:
4x4, 8x8



Up to 9 Intra prediction directions

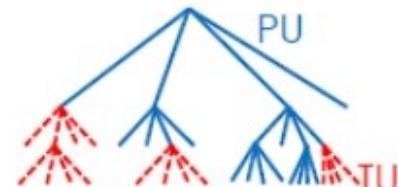
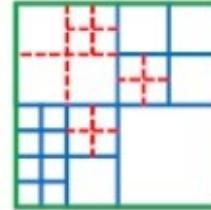


HEVC



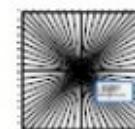
Coding Unit
64x64 to 8x8

Quadtree coding structure

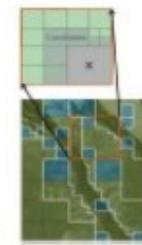


Prediction Unit and Transform Unit partitioning

⇒ Multiples sizes/forms: 64x64 to 4x4



35 Intra prediction directions



Efficient spatio-temporal mv prediction

RAW data

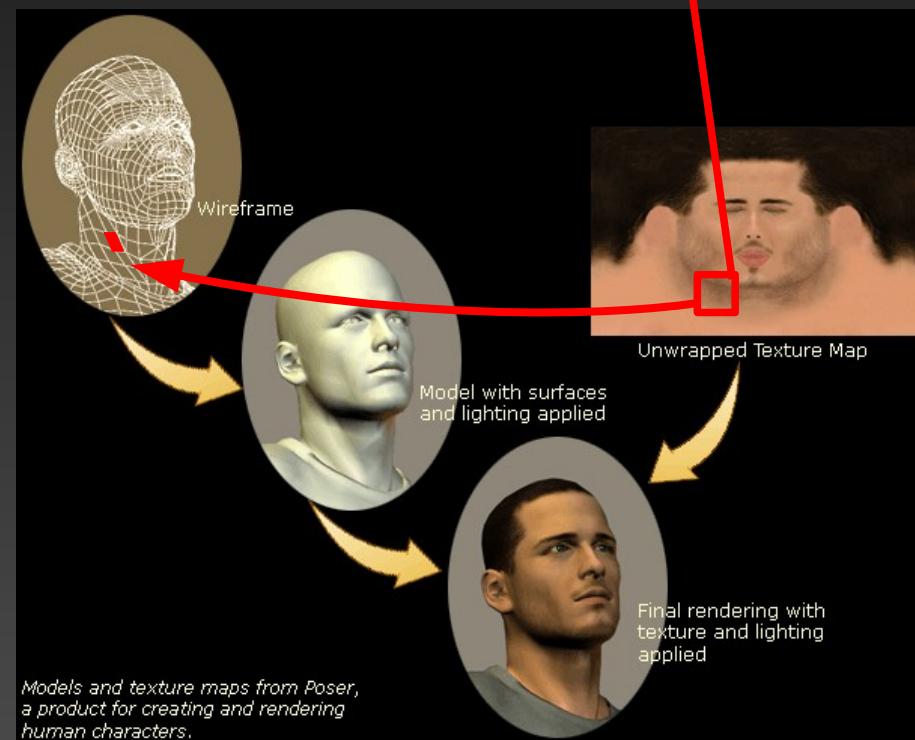
- Data načtená přímo z optického elementu fotoaparátu (kamery)
- Obsahuje **maximum obrazové informace**
 - typicky 12 nebo 14bpp (16bpp)
- Umožňuje provádět korekce až v počítači
 - vyvážení bílé, komprese, odšumění, ...
- Formát závislý na výrobci – existují **min. desítky**
 - bitová hloubka, barevný prostor, rozložení pixelů ...
 - pokusy o standardizaci
 - TIFF-EP – ISO Electronic Photography
 - DNG – Adobe, Digital Negative
 - NEF – Nikon, založený na TIFF
 - CRx – Canon, založený na TIFF
- **Nutné dále zpracovat – digitálně „vyvolat“**
 - software (Darktable, Lightroom...), výkonný počítač, disk
- Velký objem dat
 - nepoužívá se (většinou) ani neztrátová komprese

Speciální rastrové formáty – textury

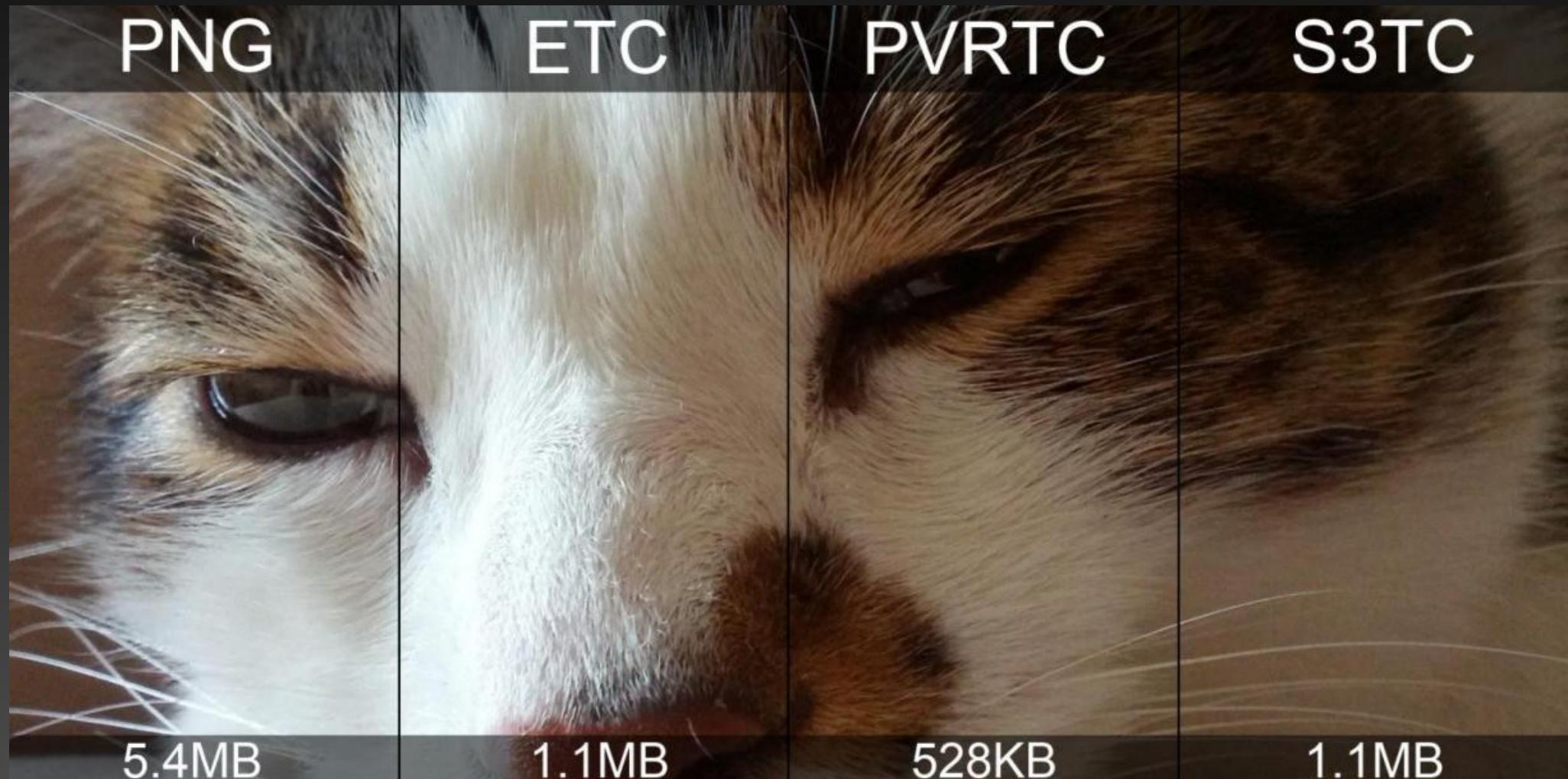
Potřebujeme náhodný, malý kousek velkého obrázku (textury). Nemáme dost paměti ani času na kompletní dekomprezi → PNG, JPEG atd. nelze použít!

- Potřebujeme
 - náhodný přístup, rychlosť, dobrý kompresní poměr, kvalitu
- Obvykle dlaždicový ztrátový formát. Každá malá dlaždice nezávisle komprimovaná s podporou HW → takřka náhodný přístup, rychlé, efektivní.
- S3TC, DDS, DXT, PWR, ETC, PVRTC, ASTC, BC, ATC, ...

Potřebujeme co nejrychleji jen tuto malou oblast.

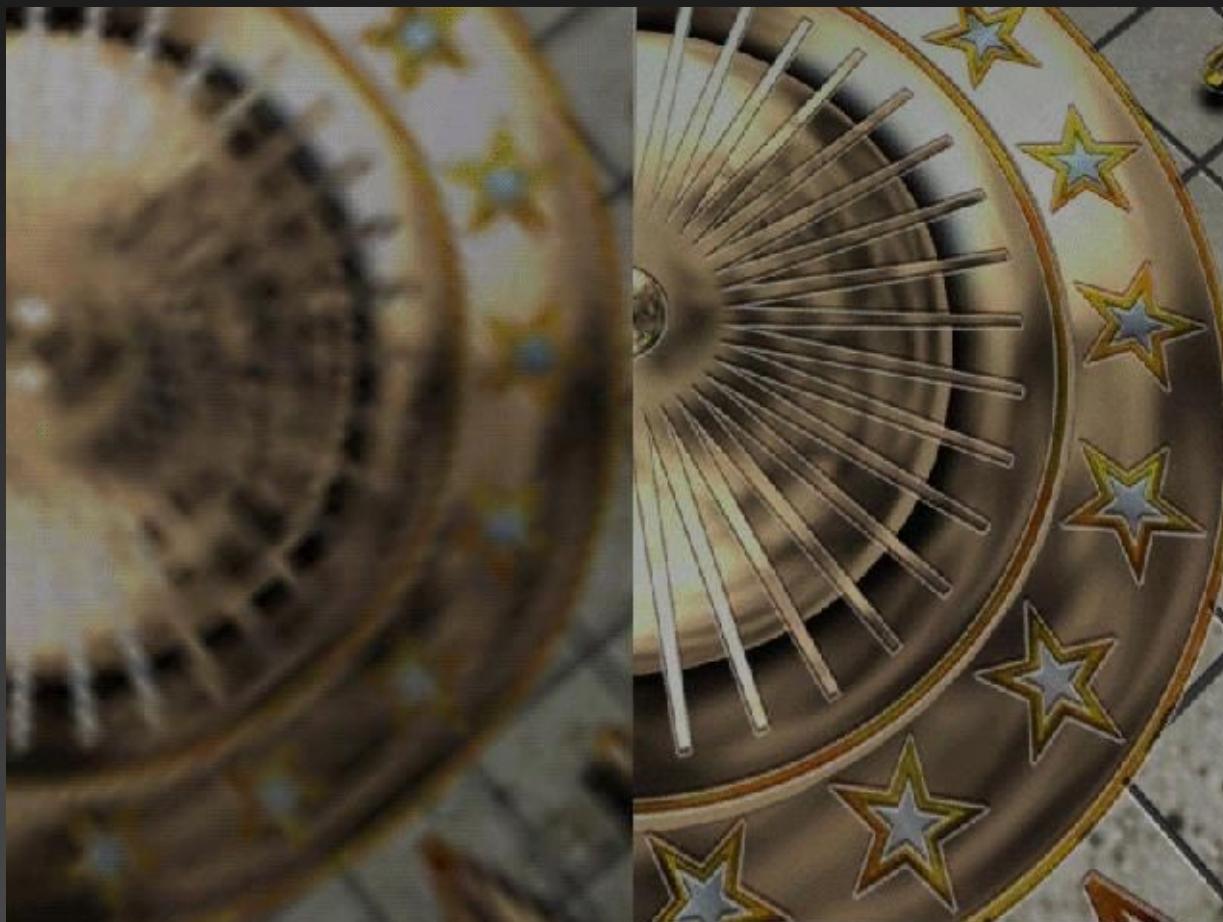


- ETC – Ericsson Texture Compression (Android)
- PVRTC – PowerVR Texture Compression (Intel, Kindle, ...)
- ATITC – ATI Texture Compression (Qualcom, Nexus)
- a další (3DC, Arm ASTC, ...)



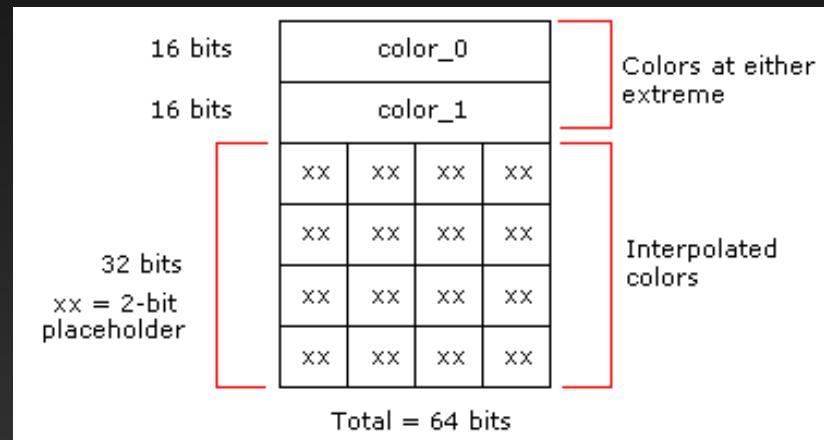
Srovnání kvality

- Nekomprimovaný obraz vs. S3TC stejné velikosti v byte.
- Nekomprimovaný je nutné uložit ve velmi malém rozlišení a při vykreslování zvětšit.



S3TC

- Nejběžnější, jednoduchý (ale překonaný); 5 variant (DXT1-5)
- Bloky 4x4 pixelů R8G8B8 komprimuje na **64** bitů
 - nekomprimovaně $4 \times 4 \times 24 = 384$ bitů → komprese **1:6**



color_0, color_1 = R5G6B5 (vybraná libovolně)

- if $C0 > C1$ then $C2 = 2/3 * C0 + 1/3 * C1$
 $C3 = 1/3 * C0 + 2/3 * C1$

else

$$\begin{aligned}C2 &= 1/2 * C0 + 1/2 * C1 \\C3 &= \text{black}\end{aligned}$$