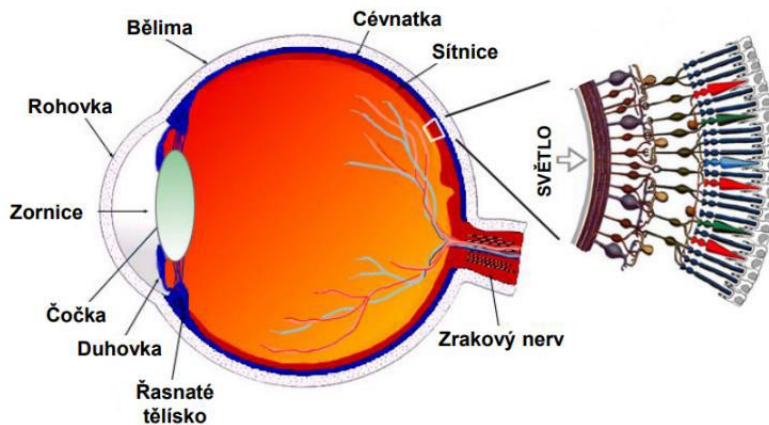


# 1. Lidský zrakový systém HVS (Human Visual System) a jeho základní charakteristiky

**Nakreslete a popište základní anatomickou strukturu lidského oka s ohledem na jednotlivé části optické soustavy.**

Rohovka -> komorový mok -> vstupní pupila -> čočka -> sklivce -> sítnice

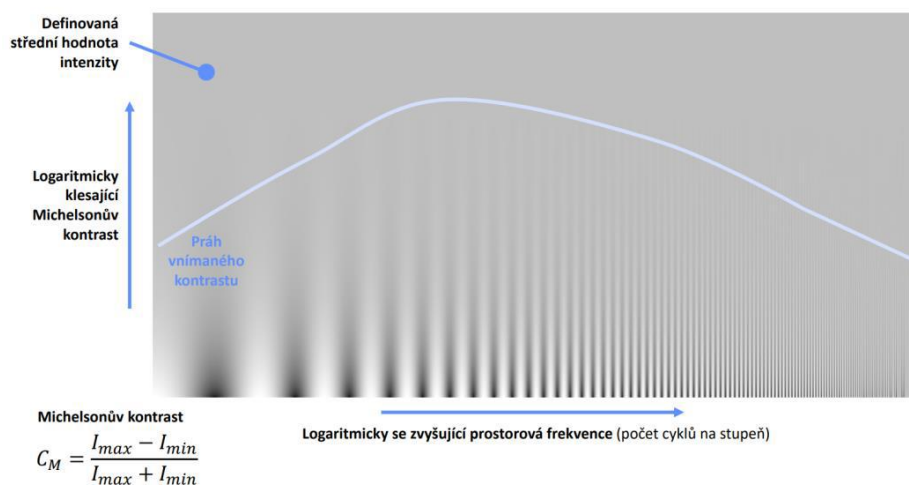


**Popište a vysvětlete funkci jednotlivých typů světlocitlivých buněk na sítnici.**

- Čípky – barevné vidění
  - Tři typy: L, M, S
  - Pomalé
- Tyčinky – černobílé vidění
  - Rychlé, jediný typ

**Vysvětlete význam prostorové a časově-prostorové funkce kontrastové citlivosti CSF (Contrast Sensitivity Function).**

Existuje kmitočet (prostorový, respektive časově-prostorový), při kterém člověk (nebo jiný snímací systém) už nevnímá určitý vzor (respektive už nepřenáší detaily)



**Vysvětlete stručně význam trichromatické a oponentní barevné teorie.**

Trichromatické vnímání = vizuální systém nedokáže absolutně přesně popsat celé spektrum zdroje, ale popisuje ho kombinací 3 složek (RGB respektive buňky L, M, S)

- Oponentní barevná teorie – Místo 3 složek světla se použijí 3 rozdílové složky: bílá – černá (= jas), zelená – červená, žlutá – modrá (WS, RG, YB)

### **Co to je metamerismus s ohledem na vnímání barev?**

Situace, kdy dvě spektrálně odlišná světla vybudí stejnou odezvu čípků, a proto i stejný vnímaný obraz.

### **Vysvětlete význam základních funkčních parametrů lidského zrakového systému v oblasti úrovněových charakteristik, zejména Weber-Fechnerův zákon a prahový kontrast.**

- Weber-Fechnerův zákon popisuje mezi fyzikální intenzitou podnětu (např jas) a jeho subjektivním vnímáním
  - $\Delta S = \frac{\Delta L}{L}$ ; kde  $\Delta S$  je změna intenzity subjektivního vjemu,  $\Delta L$  malá změna fyzikální intenzity a  $L$  fyzikální intenzita podnětu na receptoru
  - Prahový kontrast = nejmenší kontrast, který dokáže vizuální systém rozlišit
    - $C_0 = \frac{\Delta L}{L} = 2\%$
    - Jsme schopni rozlišit objekt, pokud jeho relativní změna jasu oproti pozadí je aspoň 2%

### **Vysvětlete význam základních funkčních parametrů lidského zrakového systému v oblasti časových charakteristik, zejména Ferry-Porterův zákon a vysvětlete význam kritického kmitočtu blikání.**

Kritický kmitočet blikání (CFF) = frekvence blikání, kterou lidské oko přestává vnímat jako blikání ale jako stálé světlo

- Ferry-Porterův zákon říká, že je CFF dáno logaritmickou závislostí:  $f_k = K_1 + K_2 \log L$ ; kde  $L$  je jas
  - CFF je nižší při nižším jasu!

## 2. Radiometrie, fotometrie a kolorimetrie

**Vysvětlete, čím se zabývají obory radiometrie, fotometrie a kolorimetrie. Jak se od sebe liší a jak spolu souvisí?**

- Radiometrie:
  - Studium elektromagnetického záření jako forma energie
  - Objektivní
- Fotometrie:
  - Zkoumá světlo z hlediska působení na lidské oko
  - Studuje pouze viditelné spektrum
- Kolorimetrie
  - Měření a popis barev

**Co popisuje poměrná (relativní) spektrální světelná účinnost a jak se liší pro fotopické a skotopické vidění?**

Citlivost oka na světlo vlnové délky  $\lambda$  v poměru ku vlnové délce, kde je největší citlivost –  $\lambda_{\max}$

$$\blacksquare V_{\lambda} = \frac{\Phi_{e\lambda}(\lambda_{\max})}{\Phi_{e\lambda}(\lambda)} \leq 1$$

- Pro fotopické vidění  $\lambda_{\max} = 555 \text{ nm}$
- Pro skotopické vidění  $\lambda_{\max} = 507 \text{ nm}$

**Vysvětlete mechanismus vzniku (míšení) barev, konkrétně aditivní a subtraktivní míšení.**

- Aditivní – RGB (displeje)
  - Smícháním všech složek dostaneme bílou
- Subtraktivní – CMY (tiskárny, film)
  - „filtrujeme“ – z bílého světla odebíráme složky a tím získáváme jednotlivé barvy
  - Smícháním všech složek získáme černou

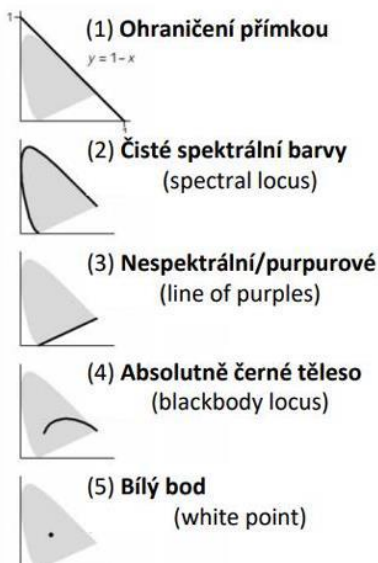
**Vysvětlete experiment trichromatického vyvážení barev (subjektivní kolorimetr). Lze vyvážit všechny barvy a jak řešíme negativní odezvu?**

- Pozorovatel se pomocí složek RGB snaží napodobit zdroj neznámého světla
- Pro některé spektra toto není možné -> řešení negativní odezvou:
  - Jeden ze zdrojů RGB přesuneme k neznámému světlu.
  - Přesunutý zdroj se od neznámého spektra odečte

**Jaký je principiální rozdíl mezi základními světly v systému CIE RGB 1931 a CIE XYZ 1931?**

- RGB – všechna světla jsou skutečná
  - Jas určen kombinací třech parametrů barev
- XYZ – Dokáže nabývat i nereálných (matematických) barev
  - Dva parametry pro barvu, jeden pro jas
  - Odstraňuje nutnost použití záporných čísel (negativní odezva)

**Popište diagram chromatičnosti CIE xy 1931 s ohledem na významné oblasti, čistých spektrálních barev, nespektrálních purpurových barev, křivku vyzařování absolutně černého tělesa a oblast bílého bodu.**

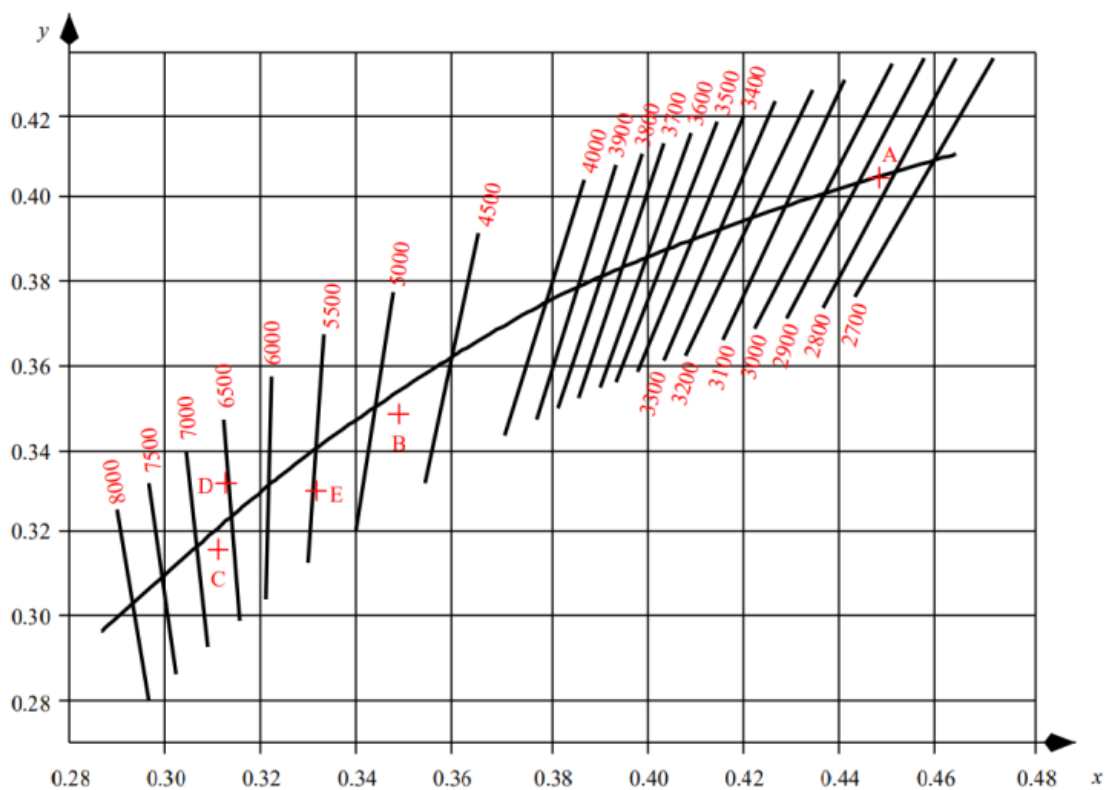


**Vysvětlete význam korelované teploty chromatičnosti CCT (Correlated Color Temperature) světelného zdroje s ohledem na vyzařování absolutně černého tělesa.**

Při určování CCT určitého zdroje světla porovnáváme jeho barevnost s vyzařováním absolutně černého tělesa

Na obr. Je křivka vyzařování černého tělesa (viz gamut z minulé otázky)

Teplota, na jakou by se zahřálo absolutně černé těleso, pokud na něj budeme svítit daným světelným zdrojem.

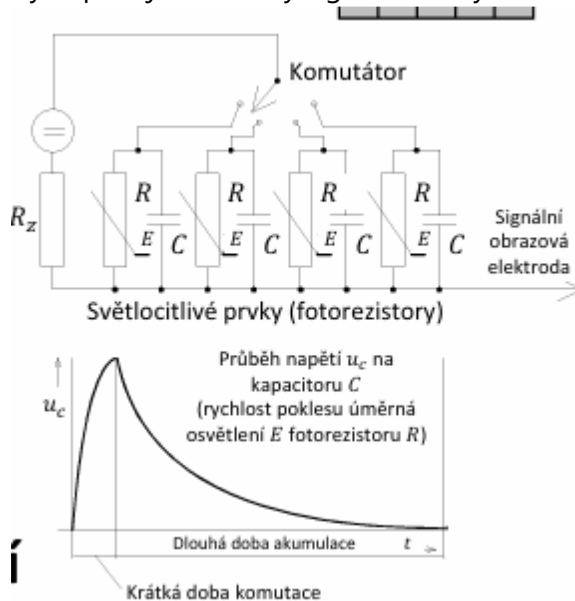


### 3. Obrazové snímače a jejich charakteristiky

#### Vysvětlete princip akumulčního snímání obrazu.

Snímání záření po delší dobu -> více akumulovaného náboje na jeden obrazový bod Princip:

1. Komutátor připojí kondenzátor k obvodu.
2. Kondenzátor se rychle nabije.
3. Komutátor odpojí obvod a posune se k dalšímu kondenzátoru (respektive světlocitlivému prvku).
4. První kondenzátor se začne vybíjet přes fotorezistor. Rychlost vybíjení závisí na odporu a odpor závisí na intenzitě světla.
5. Výstupem je obrazový signál úměrný osvětlení.



#### Vysvětlete základní princip funkce obrazového snímače CCD (Charge Coupled Device).

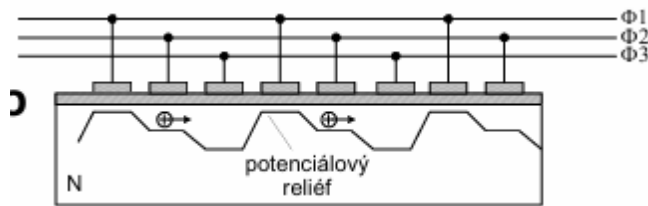
- Vytváří se náboj v závislosti na míře osvětlení
- Náboj je posouván po sloupcích ven s obvodu jako v registru

#### Popište, jak dochází k fotogeneraci náboje v buňce CCD a na jakých parametrech bude záviset velikost generovaného náboje.

- Fotogenerace náboje probíhá tak, že dopadající foton na polovodič vytvoří pár (elektron-díra).
- Elektrony jsou zachyceny v potenciálové jamce (pixelu), kde se akumulují během doby expozice.
- Velikost náboje (tedy počet elektronů) závisí především na:
  - Intenzitě dopadajícího světla
  - Délce expozice (času akumulace)
  - Citlivosti dané buňky (kvantová účinnost, vlastnosti materiálu)

**Popište stručně mechanismus posuvu náboje ve struktuře CCD s použitím diagramu.**

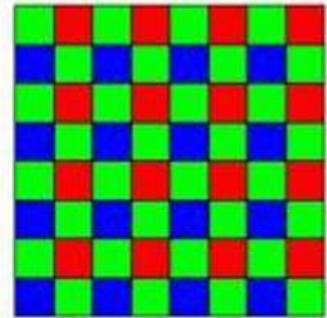
- Postupné připojování napětí na elektrody
- Vytvoření potenciálového reliéfu (vlny)
- Na poslední elektrodě se odečítá signál



**Vysvětlete princip snímání barevného obrazu s využitím masky barevných filtrů CFA (Color Filter Array), zejména pak Bayerovu masku.**

- Protože senzor samotný snímá pouze intenzitu světla, filtrem zařídíme, že různé světlocitlivé prvky na senzoru ponese informaci o různých vlnových délkách (resp. barvách)
- Bayerova maska (viz obr.) má 2x více zelených filtrů než modrých a červených
  - Zelená část nese nejvíc informace o jasu
  - Na zelenou část je oko nejcitlivější

Bayer maska:

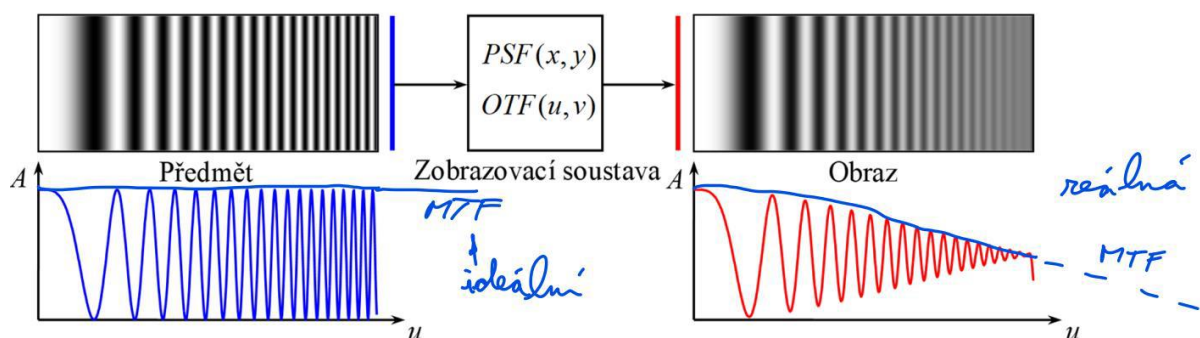


**Vysvětlete význam a základní postup měření modulační přenosové funkce MTF (Modulation Transfer Function).**

MTF udává jakým způsobem klesá kontrast se stoupajícím prostorovým kmitočtem

Měření: Vyfocení testovacího obrazce -> vykreslení profilu jasu (viz obr.) -> odečtení minim a maxim a dosazení do vzorce

$$MTF = \frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}}$$



- $B_{max}$  – maximální jas (intenzita) v signálu po zobrazení testovacího obrazce (tedy špička vlny),
- $B_{min}$  – minimální jas (nejnižší hodnota signálu, "údolí" vlny).

**Jak se projeví nedostatečné prostorové vzorkování při snímání obrazu a jak lze tomuto nežádoucímu jevu předcházet?**

- Objeví se aliasing
- Lze mu předejít anti-aliasingovým filtrem

Aliasing - jev, který vzniká při nedostatečném prostorovém vzorkování obrazu – když frekvence detailů v obraze je vyšší než polovina vzorkovací frekvence (**Nyquistovo kritérium není splněno**)

$$f_s \geq 2f_{max}$$



## 4. Předzpracování obrazu a videosignálu

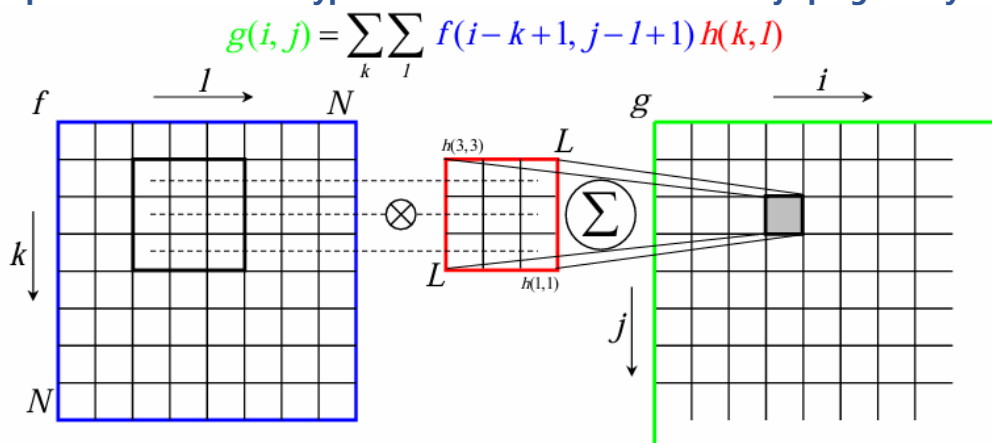
**Popište význam kvantizace obrazové funkce a jak určíme požadavek na počet kvantizačních stupňů a bitovou hloubku reprezentace obrazu v multimediální technice?**

- Kvantizace je nezbytná pro digitalizaci obrazu
- Z Weberova-Fechnerova zákona víme, že prahový kontrast (tzn. nejmenší kontrast, který dokáže lidské oko rozpoznat) je asi  $k = 2\%$
- Není tedy třeba více kvantizačních stupňů
- Kolik tedy potřebujeme kvantizačních stupňů?
  - 1) Pro každý stupeň  $L_i$  platí:  $\frac{L_{i+1}-L_i}{L_i} = k$  (poměr sousedních stupňů)
  - 2)  $\frac{L_{i+1}}{L_i} = 1 + k$
  - 3)  $\frac{L_{max}}{L_{min}} = (1 + k)^n$ ; kde  $n$  je počet kroků
  - 4) Finale:  $n = \frac{\log \frac{L_{max}}{L_{min}}}{\log (1+k)}$
  - 5) Při dosazení  $k = 0,02$  a  $\frac{L_{max}}{L_{min}} = 100$  (Standartní Dynamický Rozsah, SDR) dostáváme  $n = 230 \rightarrow 8$  bitů na pixel

**Popište co to je histogram šedotónového digitálního obrazu.**

- Graf zobrazující četnost jednotlivých jasových úrovní v obrazu.

**Popište mechanismus výpočtu 2D diskrétní konvoluce nejlépe graficky.**

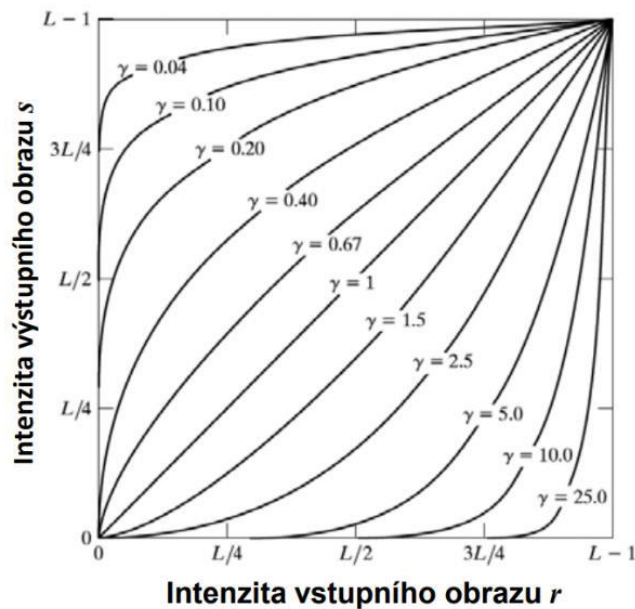


3x3 část z původní grafiky násobíš 3x3 maticí, následně celé sčítáš do jednoho pixelu

Výsledkem je stejný počet pixelů!

### Co to je korekce gamma a jak bude vypadat základní převodní charakteristika displeje a kamery v televizním systému?

- Korekce jasu obrazu
- Lidské oko vnímá jas jinak než senzor -> kompenzuje se pomocí gamma korekce



### Jaké přenosové signály pro jas (luma) a barvu (chroma) se používají v televizních soustavách, například PAL a proč?

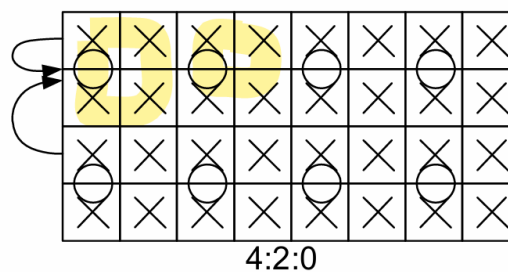
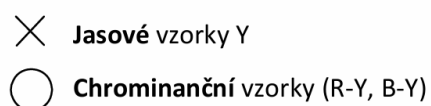
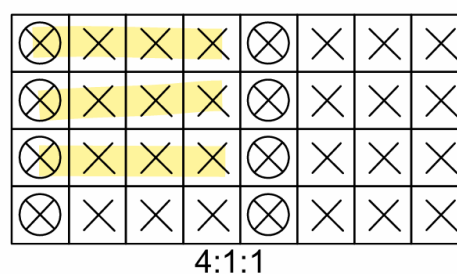
- Místo RGB se používá jasová složka a dvě barevné, rozdílové
- Oko je citlivější na jas
- Barva je nanesena na signál jasu pomocí amplitudové modulace

### Vysvětlete základní požadavky na digitalizaci složkového signálu televize ve standardním rozlišení podle ITU-R BT.601 ve smyslu vzorkovacího kmitočtu, bitové hloubky a požadovaného bitového toku.

- Vzorkovací kmitočet pro jas je 13,5 MHz, pro barevné složky 6,75 MHz
- Bitová hloubka 8 bitů
- Bitový tok 216 Mb/s

**J:a:b**

- 4:2:0 – Horizontálně i vertikálně na polovinu



## 5. Komprese obrazu a videa

**\*Vysvětlete základní rozdíl mezi (matematicky) bezztrátovou a (matematicky) ztrátovou kompresí obrazu.**

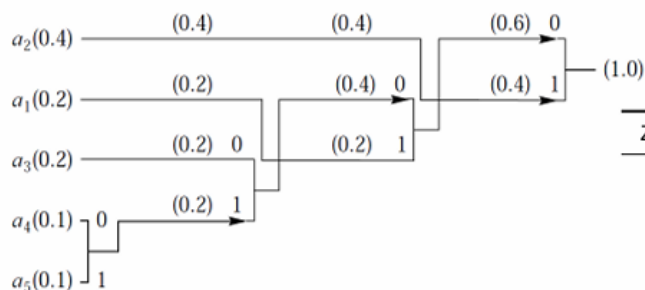
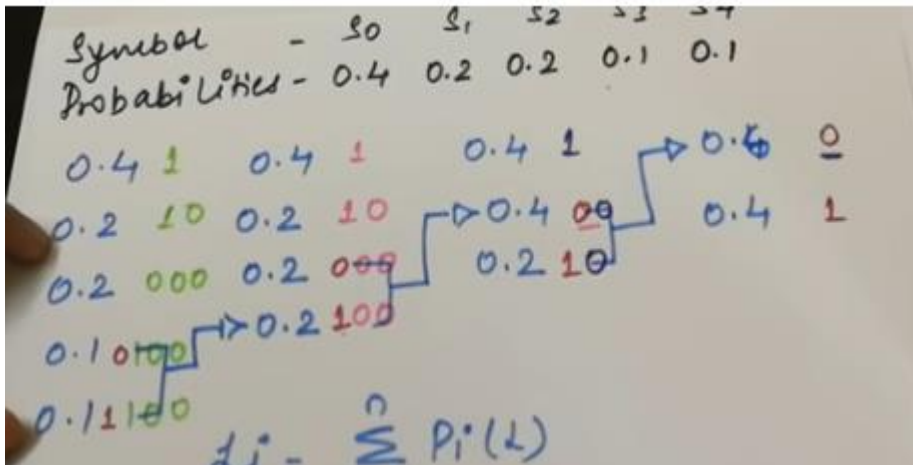
**Bezztrátová** – Rekonstruovaný signál je identický s originálem

**Ztrátová** – Rekonstruovaný signál je oproti originálu zkreslený

**\*Vysvětlete základní princip Huffmanova kodéru s proměnnou délkou kódu VLC (Variable Length Coding), nejlépe pomocí binárního stromu.**

Postup získání Huffmanova kódu:

1. Máme nějaké znaky, každý s pravděpodobností výskytu
2. Seřadíme znaky dle pravděpodobnosti
3. Poledním 2 znakům (nejméně pravděpodobným) přiřadíme 1 (poslednímu) a 0 (předposlednímu)
4. Sloučíme tyto dva dohromady aka sečteme jejich pravděpodobnosti
5. Zpět na bod 2)
6. Po dokončení tohoto binárního stromu odečteme finální kódová slova: Čteme po lonce, od zadu. Viz. obr



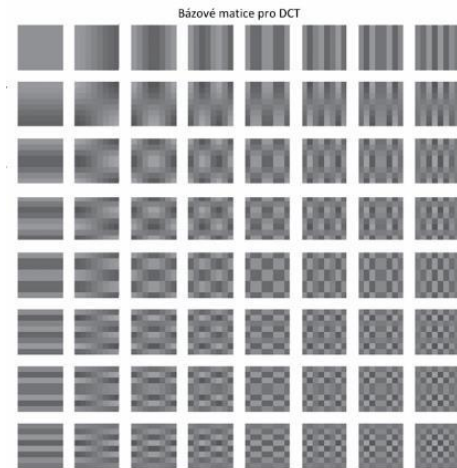
Znak	Pravděpodobnost	Kódové slovo
$a_2$	0.4	1
$a_1$	0.2	01
$a_3$	0.2	000
$a_4$	0.1	0010
$a_5$	0.1	0011

**\*Vysvětlete princip transformačního 2D DCT kódování bloků pro kompresi obrazu.**

DCT = Diskrétní Cosinová Transformace

Postup komprese:

1. Rozdělení obrazu na bloky 8x8 pixelů
2. Aplikace DCT
3. Výstupem jsou matice koeficientů. V levém horním rohu je DC složka a pak se po řádcích i sloupcích zvyšuje frekvence AC složek. V pravém dolním rohu je frekvence nejvyšší.



**\*Jaká transformace se nejčastěji používá v transformačním kódování bloků obrazu a vysvětlete proč?**

2D DCT

Na rozdíl od DFT má reálné hodnoty koeficientů a lepší kompresní zisk

**\*Jaká je výhoda využití vlnkové transformace proti rozkladu do harmonických bázových funkcí při kompresi obrazu?**

Mnohem lepší komprese než DCT, Nevytváří blokovou strukturu (ale rozostřuje, co není tak rušivé)

**\*Jak se liší kompresní artefakty, které vznikají při kompresi obrazu podle standardů JPEG a JPEG2000?**

JPEG - Bloková struktura

JPEG2000 - Rozostření

**\*Jaké transformace jsou použity ve standardech pro kompresi obrazu JPEG a JPEG2000?**

JPEG - 2D DCT

JPEG2000 - Vlnková transformace

**\*Vysvětlete základní princip blokového odhadu pohybu ME (Motion Estimation) při kódování videa**

1. Rozdělení aktuálního snímku na makrobloky. Předchozí snímek bude sloužit jako reference.
2. V ref. snímku vybereme oblast v okolí aktuálně počítaného makrobloku.
3. Ve vybrané oblasti hledáme makroblok, který nejlépe odpovídá aktuálně počítanému makrobloku.
4. Nalezený referenční makroblok virtuálně přesuneme na místo v aktuálním snímku a vypočítáme rozdíl obou snímků.
5. Dále přenášíme pouze tento rozdíl a pohybový vektor. Žitím pohybových vektorů MV (Motion Vectors).

**\*Nakreslete a vysvětlete základní principiální schéma hybridního DPCM/DCT kodéru pro kódování videa.**

Hybridní kódovač kombinuje:

**DPCM** (časová predikce) – využívá rozdíl mezi aktuálním a předchozím snímkem,

**DCT** (diskrétní kosinová transformace) – převádí obrazové bloky do frekvenční oblasti.

Postup kódování:

Predikce obrazu pomocí pohybové kompenzace.

Výpočet rozdílu (chybového signálu) mezi vstupem a predikcí.

**DCT** – transformace rozdílu do frekvenční oblasti.

**Kvantizace** – redukce přesnosti (ztrátová komprese).

**Entropické kódování** – bezeztrátové kódování kvantovaných hodnot.

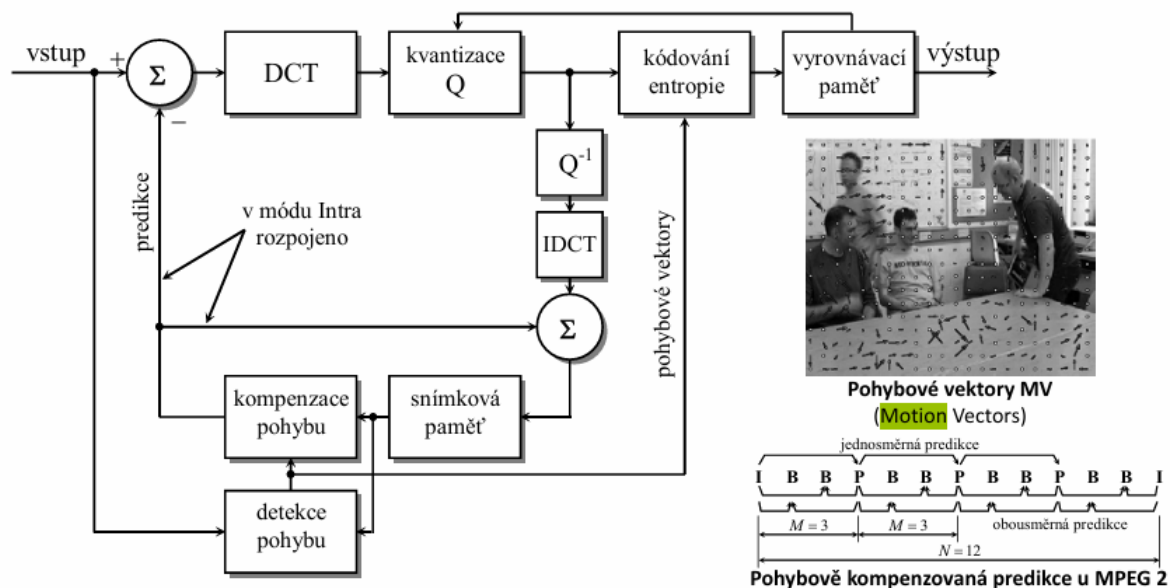
Rekonstrukce v kódovači (IDCT + přičtení predikce) pro potřeby další predikce.

**Pohybová kompenzace** – určení pohybových vektorů.

Režimy:

**Intra (I)** – bez predikce, jen DCT.

**Inter (P, B)** – s predikcí z jiných snímků.



**\*Vysvětlete hlavní principiální rozdíly v subjektivních a objektivních metodách hodnocení kvality komprimovaného obrazu IQA (Image Quality Assessment) a videa.**

**Objektivní:**

- Full reference – Porovnávání originálu s komprimovaným obrazem
- Porovnávají se pixely jedna ku jedné
- Velmi jednoduché, velmi nepřesné
- MSE (mean square error), SNR a PSNR (Peak signal-to-noise ratio)
- Reduced reference – Z originálu jsou extrahované pouze nějaké charakteristiky, a ty porovnáváme s komprimovaným obrazem.
- No reference – bez reference, duh

**Subjektivní:**

- Promítání komprimovaného obrazu skupině pozorovatelů na referenčním monitoru. Pozorovatelé hodnotí kvalitu a výsledek se průměruje.
- Nevýhody: Časově náročné, nákladné, nelze automatizovat
- Výhoda: Nejpřesnější

## 6. Obrazové displeje

**\*Vysvětlete, čím je ovlivněn rozsah reprodukováných barev na daném zobrazovači a jak souvisí s definovaným barevným prostorem, např. ITU-R Rec. BT. 601, 709, 2020, sRGB, Adobe RGB.**

Pokud je obraz zaznamenaný dle gamutu Rec. BT. 2020 (současně nejlepší) tak se nemůže zobrazit v plném rozsahu na zobrazovači se starším standardem.

**\*Vysvětlete principiální rozdíl zobrazovačů podle způsobu vzniku obrazu (a) přímo vyzařující (světelné zdroje) a (b) nepřímo vyzařující (světelné ventily, modulátory). Jaké typy displejů podle technologie patří do jednotlivých skupin?**

Přímo vyzařující = Jednotlivé body září, a přímo tvoří obraz

- CRT, OLED, PDP, FED, SED...

Nepřímo vyzařující = Mají nějaké podsvícení, které je modulováno

- LCD, DMD, LCoS...

**\*Vysvětlete základní princip funkce obrazového displeje založeného na technologii LCD (Liquid Crystal Display). Jaké jsou výhody a nevýhody této technologie?**

- Zdroj světla -> Rozptylové elementy -> polarizace -> tekuté krystaly -> barevné filtry -> polarizace 2
- Molekuly v tekutých krystalech nabývají různých uspořádání dle intenzity elektrického pole

**Výhody:**

- Vysoká životnost (>10let)

**Nevýhody:**

- V závislosti na konkrétní technologii může klesat jas nebo barevnost spolu se zorným úhlem
- V závislosti na konkrétní technologii menší barevný rozsah
- Dotykem obrazovky se deformuje obraz (IPS to nedělá -> dotykové displeje)

**\*Vysvětlete základní princip funkce obrazového displeje založeného na technologii OLED (Organic Light-Emitting Diode). Jaké jsou výhody a nevýhody této technologie?**

OLED = organic LED

Podobné LCD ale namísto krystalů je zde organický PN přechod

**Výhody:**

- Nepotřebuje podsvícení
- Malá tloušťka a hmotnost
- 90% barevný rozsah
- Teoreticky nekonečný kontrastní poměr (černá = vypnutá LED)

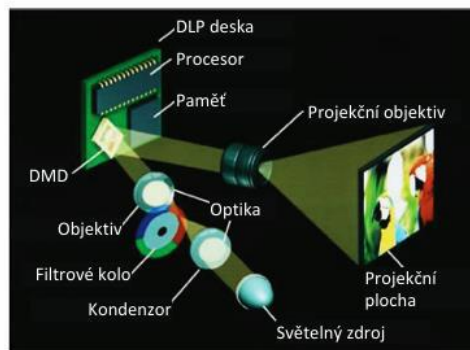
**Nevýhody:**

- Malá životnost organických složek (řádově jednotky let)
- Náročná technologie zpracování
- Náročná technika řízení jasu

**\*Vysvětlete základní princip funkce projekčního zobrazování založeného na technologii DLP (Digital Light Processing) respektive DMD (Digital Micromirror Device).**

- DMD čip je de facto ploška s miliony malých zrcátek, které buď odráží světlo do objektivu, nebo na pohlcující plochu (tzn. Buď svítí nebo ne)
- Tyto zrcadla se dokáží překlápět extrémně rychle a pomocí toho můžeme modulovat jas
- Před zdrojem světla je ještě filtrové kolo, kde se modrý, zelený a červený filtr velmi rychle mění
- Promítá se tedy nejdřív modrá, pak zelená a pak červená část obrazu





DLP projekce s jedním DMD

