

# VIDEOTECHNIKA

## Előadásvázlat

*Mócsai Tamás*

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások  
Tanszék

2015. szeptember



- Fénytani és színtani alapok, színterek
- Videojel komponensei (világosságjel, színkülönbségi jel)
- Videojel digitalizálásának kérdései
- Interpolálás, decimálás, szűrés
- SD, HD és UHD képfarmátumok, és technikai paraméterek
- Videótömörítési eljárások alapjai
- Professzionális és stúdiótechnikai célú tömörítési eljárások (DV, MPEG-2, MPEG-4 AVC, HEVC, stb.)
- Digitális stúdió interfészek (SDI, HD-SDI, stb.)



- Videokamerák felépítése, funkciói, optikai képalkotási alapok
- Elektronikus képérzékelők (CCD, CMOS)
- Képfeldolgozási folyamatok a kamerában
- Videóstúdió felépítése, funkciói, alapvető eszközei
- Digitális mozi
- Video és filmes munkafolyamatok



## Videotechnika - Gyakorlat: kb. 5 db egyenként 3 órás gyakorlat a félév második felében

- MATLAB-os képfeldolgozási gyakorlatok: interpolálás, decimálás, szűrés, kvantálás, transzformációs kódolások, képtömörítések alapjai
- Videotömörítési eljárások vizsgálata (szubjektív elemzéssel, ill. objektív metrikák segítségével) (FFMPEG)
- NLE videoszerkesztés alapjai, utómunka, effektek, szín és tónuskorrekciók (Adobe Premiere, stb.)
- ...



- 1 nagy zárthelyi a félév közepén
- Írásbeli vizsga
- Érdemjegy:  $1/3 \times \text{ZH jegy} + 2/3 \times \text{Vizsga jegy}$
- Használható jegyzet: EZ és Charles Poynton: Digital Video and HDTV - Algorithms and Interfaces

- Mozgóképfarmátumok összetevői
  - képméret (felbontás, raszter)
  - képváltási (frissítési) frekvencia
  - színes képpont ábrázolásának módja (színtér, színterkepek)
- A két fő feladat:
  - Olyan képfarmátum létrehozása, amellyel biztosítható, hogy a néző számára nyújtott képminőség az eredetivel megkülönböztethetetlen legyen
  - Ehhez olyan forráskódolás, amely csak "észrevehetetlen" hibákat eredményez a dekódolt képen (**kompromisszum**)
- **Az emberi látás** számára kell "hibátlan" látványt biztosítani: ehhez ismerni kell az emberi látás legfontosabb tulajdonságait



- Valós idejű (vagy gyorsabb), késleltetésmentes továbbítás, és feldolgozás
- Transzparens minőség
- A képminőség több utófeldolgozási lépés után sem romolhat
- Többgenerációs kódolás-dekódolás, ill. utófeldolgozással szembeni transzparencia
- Igény: tömörítetlen video adat, veszteségmentes tömörítés, vagy transzparens professzionális veszteséges tömörítési eljárások



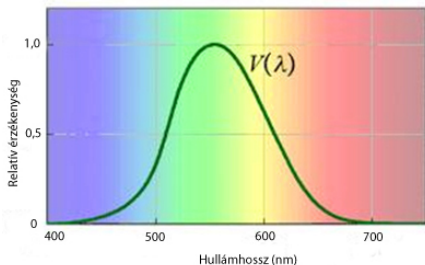
## A látható fény és a színek

- Az emberi látórendszer (HVS: Human Visual System) az elektromágneses spektrumnak csak egy egészen keskeny részét képes érzékelni:
  - az ultraibolya (ibolyán túli) és az infravörös (vörösön „innyi”) sugárzás közötti kb. 400 és 700 nm közé eső hullámhossz tartományt.
- A különböző hullámhosszúságú fénysugarakat a HVS különböző színekként érzékeli.
- Több főtípus különböztetünk meg:
  - **sötétkék, enciánkék, zöld, sárga, narancs, vörös, bíbor.**
  - A fehér (és a szürke) fény ezeknek a színeknek a keveréke.



## Értelmezése:

- **Láthatósági függvény** az azonos intenzitású, de eltérő hullámhosszú fény hatására a szemben keletkezett fényérzet a láthatósági függvény szerint változik.
- A láthatósági függvény nagyon sok ember látásának átlagos érzékenységét tükrözi.
- A görbe maximuma kb. 550 nm hullámhossznál van.



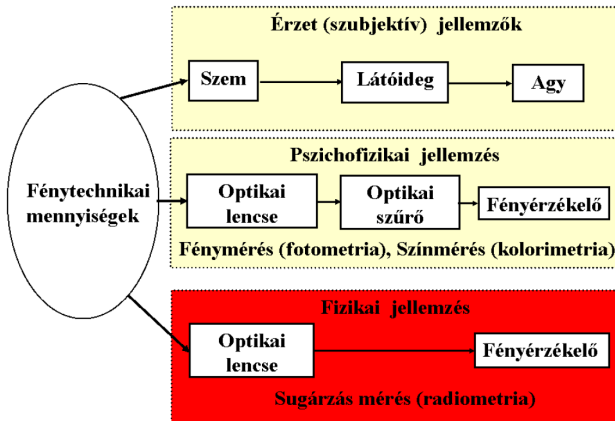


## Nappali és éjszakai látás

- Nappali látás (photopic): csapokkal, ezek 3 típusa (L,M,S) biztosítja a színérzékelést
- Éjszakai látás (scotopic): pálcikákkal - a nappali látás láthatósági függvénye  $V(\lambda)$  eltolódik a kék árnyalatok irányába

## Csapok és pálcikák elhelyezkedése

- Csapok: A retina közepén nagy sűrűségben
- Pálcikák: A retina szélén - a periférikus látásért is felelnek, érzékenyebbek, gyorsabbak, ezért a fúziós frekvencia a perifériás látás esetében magasabb





## Érzeti jellemzők

- Érzékszerveinkkel érzékeljük, a "mérőeszköz" a HVS
- Tisztán szubjektív mennyiségek

## Pszichofizikai jellemzők

- Optoelektromos érzékelőkkel mérjük
- A fényforrás és az érzékelő közötti fényátviteli (optoelektromos átviteli) függvény megfelel a láthatósági függvénynek

## Fizikai jellemzők

- Optoelektromos érzékelőkkel mérjük
- Tisztán radiometriai mennyiségek, függetlenül az emberi látás tulajdonságaitól



## Radiometria

- Optoelektromos érzékelőkkel mérjük
- Az optikai sugárzás mérésével foglalkozik
- Optikai sugárzás: Az 1 nm hullámhosszú röntgensugárzás és a kb. 1 mm hullámhosszú rádióhullámok közé eső spektrum

## Radiometriai mennyiségek

- Sugárzott teljesítmény (flux)  $[W]$
- Sugárerősség  $[Wsr^{-1}]$  - egységnyi térszögbe (1 szteradián) sugárzott fénytelsítmény
- Besugárzott felületi teljesítmény  $[Wm^{-2}]$  - egységnyi felületre eső fénytelsítmény
- Sugársűrűség  $[Wsr^{-1}m^{-2}]$  - egységnyi térszögbe kisugárzott, egységnyi felületre eső fénytelsítmény

## Fotometria

- A látható (kb 400-700 nm) hullámhossztartomány mérésével foglalkozik
- Az optoelektromos átalakító átviteli függvénye megfelel a láthatósági függvénynek

## Radiometriai és fotometriai mennyiségek kapcsolata

- Fotometriai mennyiségek: Fényáram (luminous flux), fényerősség (luminous intensity), megvilágítás (illuminance), **fénysűrűség (luminance)**

Radiometriai mennyiség	Mértékegység	Fotometriai mennyiség	Mértékegység
Sugárzott teljesítmény ( $\Phi_e$ )	W	Fényáram ( $\Phi_v$ )	lm (lumen)
Sugárerősség ( $I_e$ )	$\text{Wsr}^{-1}$	Fényerősség ( $I_v$ )	cd (candela)
Besugárzott felületi teljesítmény ( $E_e$ )	$\text{Wm}^{-2}$	Megvilágítás ( $E_v$ )	lx (lux)
Sugársűrűség ( $L_e$ )	$\text{Wsr}^{-1} \text{m}^{-2}$	<b>Fénysűrűség (<math>L_v</math>)</b>	$\text{cdm}^{-2}$ (nit)

Videotechnikai szempontból a legfontosabb fotometriai jellemző a **fénysűrűség (luminance)**.

## Lumen, lm

Egy monokromatikus,  $540 \times 10^{12}$  Hz frekvenciájú, és  $1/683$  W sugárteljesítményű fénysugár fényárama 1 lumen. (A  $540 \times 10^{12}$  Hz közelítőleg megfelel az 555 nm-es hullámhossznak.)

## Candela, cd

Pontszerű, 1 lumen fényáramú fényforrás 1 steradián térszögbe eső fényerőssége 1 cd. Példa: Egy átlagos gyertya fényerőssége 1 cd. Egy 25 W-os kompakt fénycső fényárama kb. 1700 lm. Ha a fénycső egyenletesen sugároz minden irányban (pontforrás) akkor a fényerőssége 135 cd. Ha ugyanezen fényáram egy 20 fokos szögben fókuszált sugárban terjed, akkor ennek fényerőssége kb. 18000 cd

Lux, lx

1 lm fényáramú fényforrás 1 m<sup>2</sup> felületre egyenletesen beeső megvilágítása 1 lux.

cd/m<sup>2</sup>, nit

1 cd fényerősségű fényforrás 1 m<sup>2</sup> felületre egyenletesen beeső fénysűrűsége 1 nit.





## Brightness

A látásérzet azon jellemzője, amelyet az vált ki, hogy egy felület több, vagy kevesebb fényt bocsát ki (vagy úgy tűnik, mintha több, vagy kevesebb fényt bocsátana ki) - a világosság, mint érzeti jellemző szoros kapcsolatban áll a fénysűrűséggel (lásd később)

## Lightness

Azonos megvilágítási körülmények között egy adott felület világossága egy fehér felülethez képest.



## Színezet (hue)

A látásérzet azon jellemzője, melynek eredménye végső soron a színek megnevezése (piros, sárga, stb.)

## Színezettség (colorfulness)

A látásérzet azon jellemzője, mely azt jellemzi, hogy egy adott színinger többé vagy kevésbé kromatikus (színezettel rendelkezik) Akromatikus színinger: fekete-szürke-fehér

## Chroma

Egy felület színezettsége egy azonosan megvilágított fehér felület világosságához képest. (relatív színezettség)

## Telítettség (saturation)

Egy felület színezettsége a saját világosságához viszonyítva.



$$\text{Chroma} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness(White)}}$$

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness}}$$

$$\text{Lightness} = \frac{\text{Brightness}}{\text{Brightness(White)}}$$

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Chroma}}{\text{Lightness}}$$

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness(White)}} \cdot \frac{\text{Brightness(White)}}{\text{Brightness}}$$

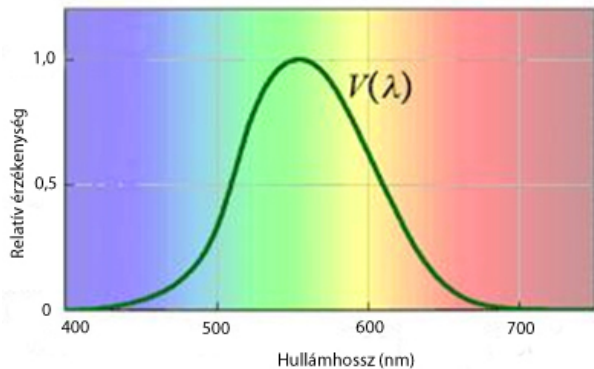


## Fúziós frekvencia és a villogás

- Fúziós frekvencia: színingerek változásának az a frekvenciája, amely felett a világosság, ill. az érzékelt szín változása már nem észlelhető
- Villogás: a fény-, vagy színinger gyors változása által keltett, általában kellemetlen benyomást értjük, ha a váltakozás frekvenciája néhány Hz-nél nagyobb, de a fúziós frekvencia értékét még nem éri el

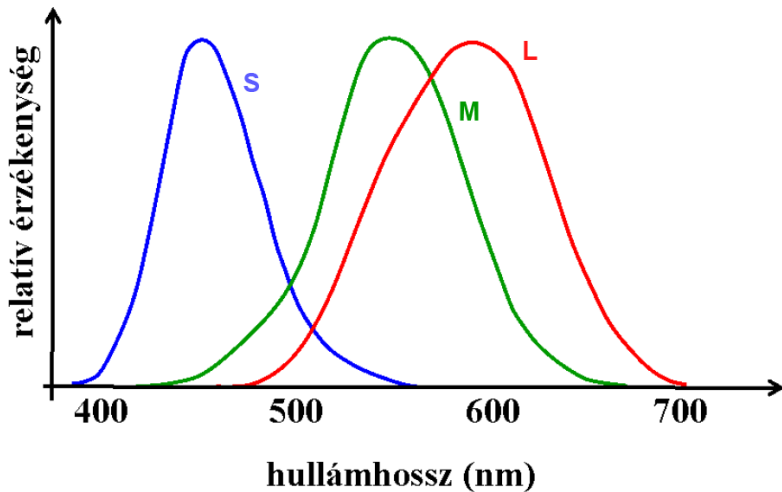


## A láthatósági függvény (nappali)

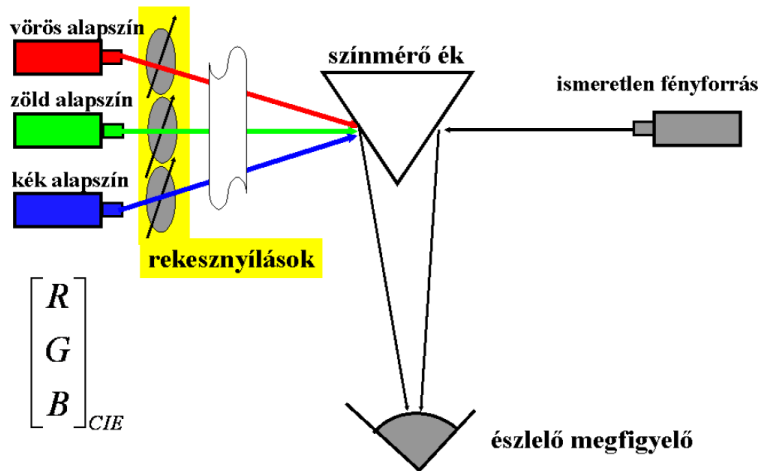




## A HVS csapjainak érzékenysége



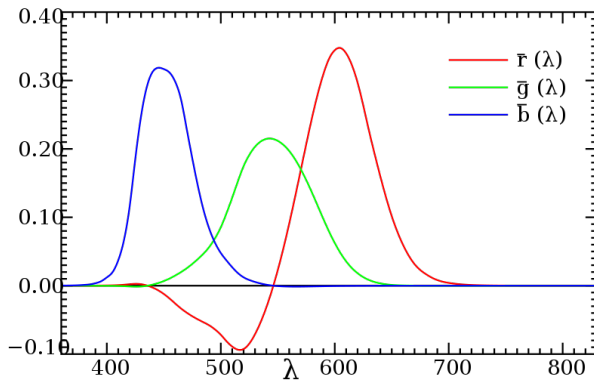
# A CIE RGB összehasonlító színmérő



CIE: Commission internationale de l'éclairage / International Commission on Illumination



# A CIE RGB színösszetevő függvények







## A CIE XYZ színtér

### A CIE XYZ megalkotásának követelményei

- Ne legyenek negatív értékek
- A  $\bar{z}(\lambda)$  összetevő nulla értékű 650 nm fölött
- A  $\bar{y}(\lambda)$  megegyezik a láthatósági függvényvel ( $V(\lambda)$ ) - így az Y koordináta a fénysűrűség összetevő
- Az  $X = Y = Z$  színkoordináta az egyenlő energiájú fehéret jelenti

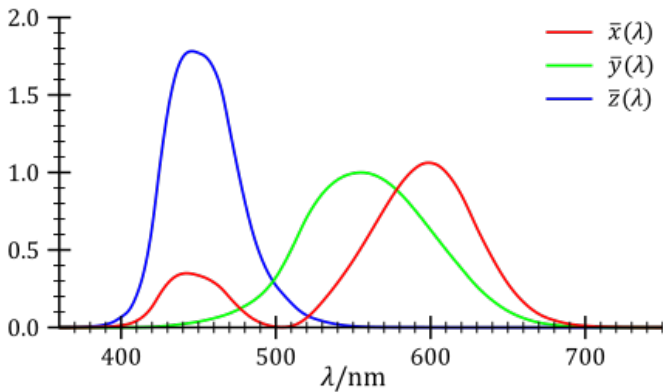
### A CIE XYZ koordináták számítása a CIE RGB koordinátákból

- Lineáris transzformáció útján

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \underline{\underline{K}} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}_{CIE} = \begin{bmatrix} 2,77 & 1,75 & 1,13 \\ 1 & 4,59 & 0,06 \\ 0 & 0,06 & 5,6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}_{CIE}$$



# A CIE XYZ színösszetevő függvények



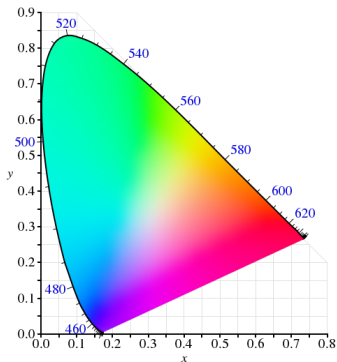


## A CIE xy koordináta rendszer

A CIE xy koordináták származtatása

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \text{ és } y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

A CIE xy színháromszög



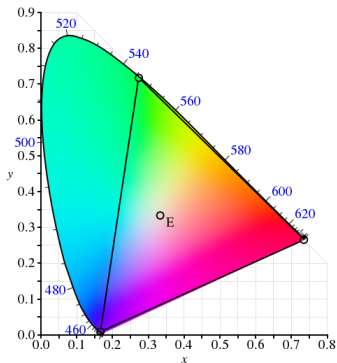


## A CIE xy koordináta rendszer

A CIE xy koordináták származtatása

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \text{ és } y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

Az E fehér ( $x = \frac{1}{3}, y = \frac{1}{3}$ ) és a CIE RGB alapszínek helye





## Izokrom, metamer, és heterokrom színek

- Izokrom színek: azonos a spektrális eloszlásuk, így azonos színingert is keltenek.
- Metamer színek: bár a spektrális eloszlásuk nem azonos, ennek ellenére azonos színingert keltenek.
- Heterokrom színek: különböző színingert keltenek, így a spektrális eloszlásuk sem azonos.

## A látás fényűrűség tartománya

- Teljes fényűrűség tartomány átfogás (éjszaka sötétje - direkt napfény): kb. 10 000 000 : 1
- Ezen belül adaptáció:
  - A pupilla zárásával (gyors)
  - A látóreceptorok fotokémiai adaptálódásával (lassú)

## A látás fényűrűség tartománya

- Egy adott megvilágítási körülményre adaptált látórendszer statikus fényűrűség érzékelési tartománya kb 100:1 (egy adott érzékelt jeleneten belüli szemmozgás során a pupilla összehúzódása/kitágulása kb. 5x-ére növelheti ezt az értéket)
- **Képi reprodukció esetében a kiindulási pont** az, hogy egy adott nappali megvilágítási körülményre az adaptált állapotban, egy képen belüli maximális diffúz fehér fényűrűséghez képesti 1% fényűrűség még érzékelhetőnek tekinthető (100:1 tartomány), 1% fényűrűség alatt pedig már nem érzékelhető.

## Befolyásoló hatások

- Szem stabilitása, például:
  - 1 helyben áll (fix)
  - normál (szem)mozgást végez
  - 2 pont között ugrál
- Eltérő világosságra és színezetre (utóbbira rosszabb)
- A kontraszt időbeli változása [Hz]
- A kontraszt térbeli változása
- Függ az átlagos fényerősségtől, világosnál érzékenyebb (20-30-szoros a sötéthez képest)



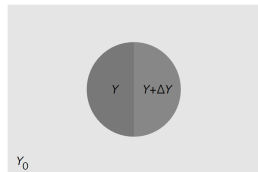
## A képtartalom mozgásának függvényében

- A legnagyobb az érzékenység az álló képtartalomra, vagy
- olyan lassú mozgásra, ahol a szem követni tudja az objektumot (normál mozgás);
- ha nem lehet követni a mozgást, akkor a gyorsabb mozgás rosszabb érzékenységet okoz



## Kontrasztérzékenység a környezeti fénysűrűség függvényében

- A megfigyelő látóterének nagy részét az  $Y_0$  fénysűrűségű mező tölti ki, mely meghatározza a HVS adaptációját.
- A látótér közepén lévő két felület fénysűrűsége kissé eltérő,  $Y$  és  $Y + \Delta Y$ .
- A  $\frac{Y}{Y_0}$  fénysűrűség tartomány széles határok közötti változtatása mellett a kísérlettel meghatározható a HVS  $\frac{\Delta Y}{Y}$  kontrasztérzékenysége, vagyis, hogy a környezet fénysűrűségének ( $Y_0$ ) függvényében mely legkisebb  $\frac{\Delta Y}{Y}$  hányados esetében különböztethető még meg a két szomszédos felület egymástól.





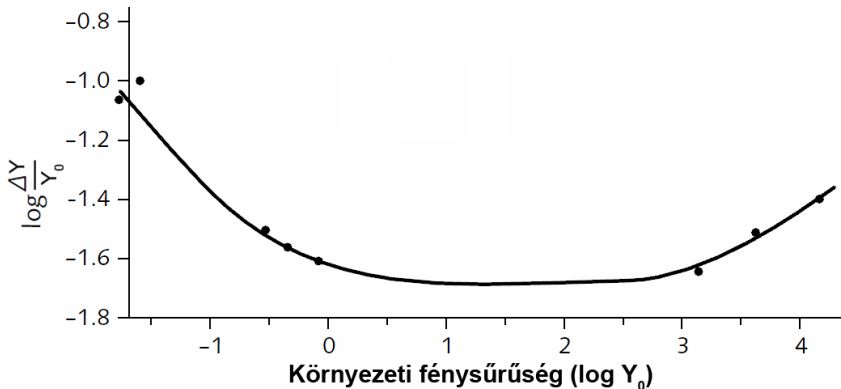
## Kontrasztérzékenység a környezeti fénysűrűség függvényében

- Két dekádnyi fénysűrűség tartományban a HVS kontrasztérzékenysége kb. 1%
- Ebben a tartományban két felület nem különböztethető meg, ha a róluk visszaverődő fény fénysűrűségeinek aránya kisebb mint 1.01
- Ez a konstans arány azt jelenti, hogy ebben a tartományban (tehát közepes megvilágítási szintek esetén) a fénysűrűség érzékelés közel logaritmikus
- A normál megvilágítási tartományokon kívül a kontrasztérzékelés romlik



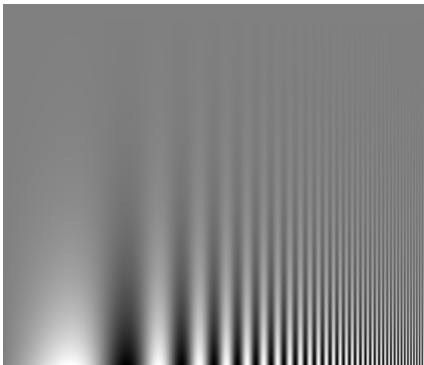
## Statikus kontraszt érzékenység

Kontrasztérzékenység a környezeti fény­sűrűség függvényében



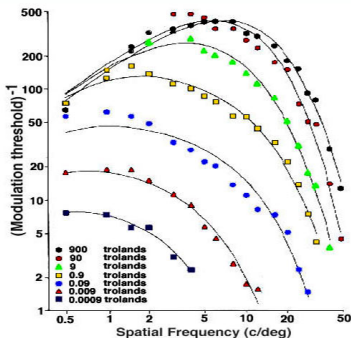


Kontrasztérzékenység a térbeli frekvencia függvényében



A fénysűrűség adott térbeli frekvenciával szinuszosan változik  $L_{min}$  és  $L_{max}$  között. Ekkor a kontraszt  $C = \frac{L_{max} - L_{min}}{\bar{L}}$ , ahol  $\bar{L} = \frac{L_{max} + L_{min}}{2}$  az átlagos fénysűrűség. Az ábrán  $\bar{L}$  állandó, a kontraszt felülről lefelé nő, a térbeli frekvencia balról jobbra nő.

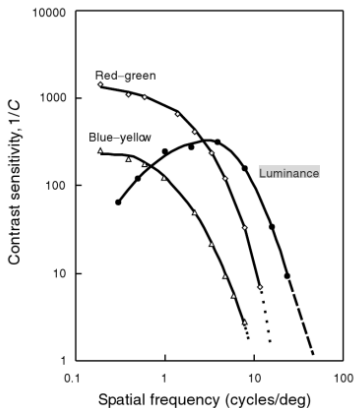
## Kontrasztérzékenység a térbeli frekvencia függvényében



A retina átlagos megvilágítottsági szintje trolandban van kifejezve. A modulációs küszöb (modulation threshold) az a legkisebb kontraszt érték, ahol a moduláció még észlelhető. Ennek reciproka fejezi ki az érzékenységet.

A kontraszt érzékenység változik a környezeti fénysűrűség és a térbeli frekvencia függvényében. A görbesereg 60 ciklus/fok fölött gyakorlatilag érzéketlenséget mutat: ez a térbeli felbontóképesség határa.

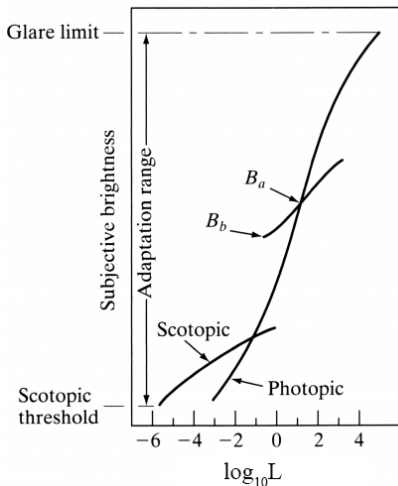
## Kontrasztérzékenység a térbeli frekvencia függvényében, szín és világosságkomponensekre



A kontraszt érzékenység térbeli frekvencia határa alacsonyabb színes (piros-zöld, illetve kék-sárga moduláció) modulációs tartalomra, mint a fekete-fehér modulációs tartalomra: a színekre vonatkozó térbeli felbontóképességünk alacsonyabb.



# Világosság adaptáció, és szubjektív világosság



- $B_a$ : adaptációt meghatározó közepes fénysűrűség, környezeti megvilágítás (adaptációs szint)
- $B_b$ : adaptált állapotban legkisebb észlelhető fénysűrűség (kb. 100:1 arány !)



## A szubjektív világosság közelítése a fénysűrűség függvényében

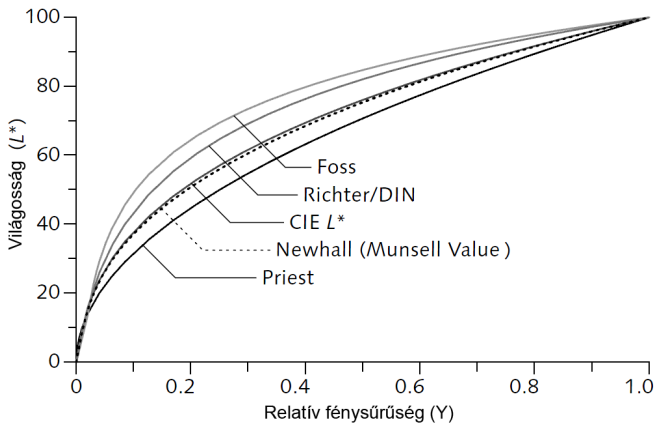
- Az előzőek alapján a világosságérzékelés a fénysűrűség függvényében logaritmikus jellemzőket mutat (logaritmikus X-tengely mentén közel lineáris függvény)
- A pontos közelítést megfelelő hatványkitevőjű hatványfüggvények adják

### A CIE világosság definíciója ( $L^*$ )

$$L^* = \begin{cases} \left(\frac{29}{3}\right)^3 Y/Y_n, & Y/Y_n \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16, & Y/Y_n > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases}$$



## A CIE világosság definíciója ( $L^*$ )





## A CIE világosság definíciója ( $L^*$ )

### A CIE világosság definíciója ( $L^*$ )

$$L^* = \begin{cases} \left(\frac{29}{3}\right)^3 Y/Y_n, & Y/Y_n \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, & Y/Y_n > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases}$$

- $L^*$  a fénysűrűség ( $Y$ ) hatványfüggvénye, a fekete szint közelében (az  $L^* = 8$  érték alatt) egy módosított lineáris szakasszal.
- $L^*$  értékei 0 és 100 között vannak, egy szabadon választható  $Y_n$  referencia fehér fénysűrűséghez képest
- A  $\frac{Y}{Y_n}$  hányados a **relatív fénysűrűség** (képi reprodukció során nem a rögzített jelenet eredeti fénysűrűség értékeit próbáljuk reprodukálni, hanem egy azzal közel arányos fénysűrűség eloszlást, melynek maximális fénysűrűségét a megjelenítő eszköz képességei határozzák meg)
- A teljes görbe jól közelíthető egy  $Y^{0.4}$  hatványfüggvénnyel



### Hunt-hatás

Növekvő környezeti fény­sűrűség mellett ugyanaz észlelt jelenet (valós, vagy reprodukált kép) színingereinek észlelt színezettsége (colorfulness) növekszik. Pl. ugyanazon épületet, tájat napfényben színesebbnek látjuk, mint szürkületben, vagy ugyanazon fényképet erős nappali megvilágítás mellett színesebbnek észleljük, mint árnyékban [megj. a példákban szereplő megvilágítások spektrális összetételének különbözőségétől eltekintve]

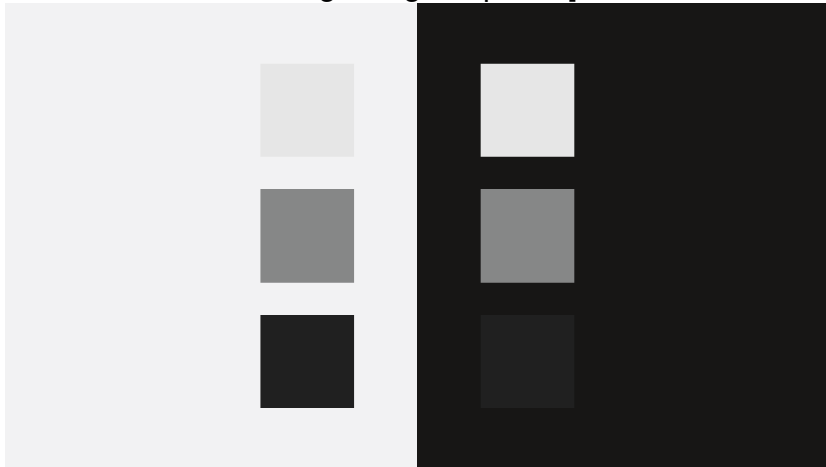
### Stevens-hatás

Növekvő környezeti fény­sűrűség mellett ugyanaz észlelt jelenet észlelt világosság-kontrasztja növekszik. Csökkenő környezeti megvilágítás mellett a kontraszt csökken. Pl. egy fekete-fehér fénykép alacsony megvilágítási szint mellett alacsony kontrasztúnak tűnik, míg pl. nappali megvilágítás mellett nagyobb kontrasztúnak.



## Egyéb, képi reprodukciót befolyásoló hatások

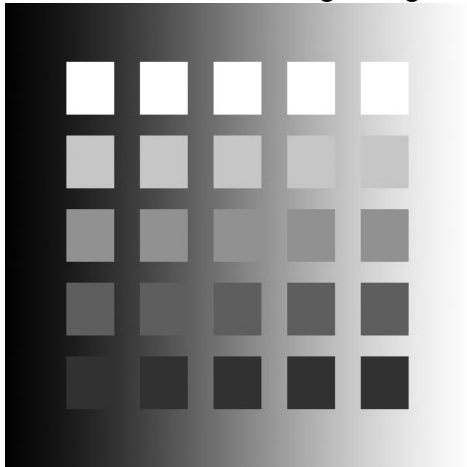
Stevens-hatás (Bartelson-Breneman hatás) [egyidejű kontraszt, laterális világosság adaptáció]





## Egyéb, képi reprodukciót befolyásoló hatások

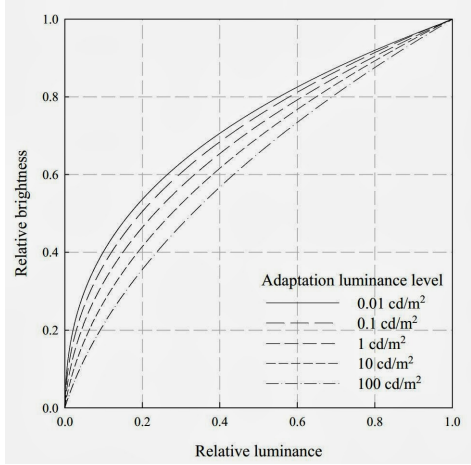
Stevens-hatás (Bartelson-Breneman hatás) [egyidejű kontraszt, laterális világosság adaptáció]





# Egyéb, képi reprodukciót befolyásoló hatások

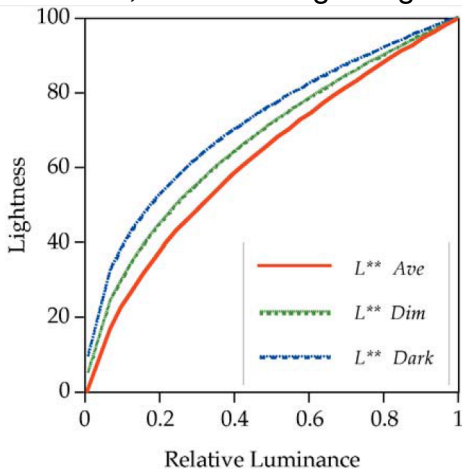
Stevens-hatás (Bartelson-Breneman hatás) [egyidejű kontraszt, laterális világosság adaptáció]





## Egyéb, képi reprodukciót befolyásoló hatások

Stevens-hatás (Bartelson-Breneman hatás) [egyidejű kontraszt, laterális világosság adaptáció]

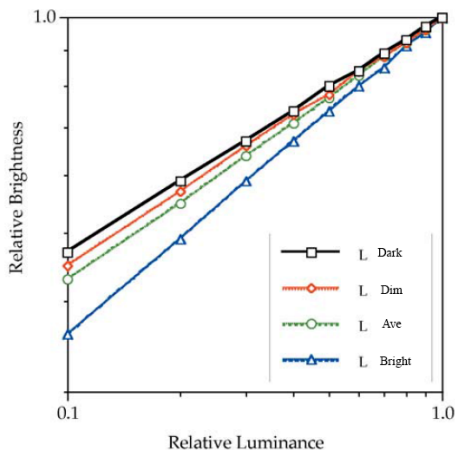






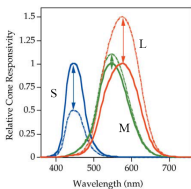
## Egyéb, képi reprodukciót befolyásoló hatások

Stevens-hatás (Bartelson-Breneman hatás) [egyidejű kontraszt, laterális világosság adaptáció]



## Előljáróban, részletesebben később

A kromatikus adaptáció a HVS azon képességét jelenti, hogy látásunk alkalmazkodni képes a környezeti megvilágítás színhőmérsékletének (gyakorlatilag színezetének) viszonylag szélsőséges változásaihoz, annak érdekében hogy a környezetünkben lévő tárgyak színe viszonylag állandó maradjon. A kromatikus adaptáció ideje kb. 60 másodperc, és elsősorban az LMS csapok érzékenységének fotokémiai úton történő érzékenységváltozásával (kb. erősítésszabályzás) valósul meg.



- A színlátás mechanizmusa egyenértékűnek tekinti a metamer színeket.
- A természetben előforduló színekkel azonos színérzetet keltő színingereket mesterségesen elő lehet állítani néhány alkalmasan megválasztott alapszín különböző arányú keverékével.
- Ez a színes képreprodukáló eljárások (tvtechnika, nyomtatás, színes fotó, dia, stb.) alapja.
- A színdiagramban felvehető 4 színpont úgy, hogy a keletkező négyszög (a reprodukálható színek területe) csaknem azonos területű a látható színek területével.
- Ha figyelembe vesszük, hogy a kieső területek főleg a zöld színek tartományában vannak, ahol a szemünk színekre vonatkozó felbontóképessége igen kicsiny, jó közelítéssel 3 szín használata is elég a jó színes kép reprodukálásához.

- Kézenfekvő lenne a CIE három alapszínét alkalmazni a színes tv kép reprodukálásához. Gyakorlati akadályok:
- Nem lehetett a képcsőtechnikában alkalmazott fényporfajtákkal ezeket az alapszíneket létrehozni.
- A használt fénypor hatásfoka kicsi lenne ezekre a pontokra.
- Kompromisszum: egyidejűleg biztosítani a megvalósíthatóságot és a maximálisan lefedett színterületet.



## RGB színtér definiálása

Egy additív RGB színteret egyértelműen meghatároznak a választott RGB alapszínek CIE XYZ (vagy xy) koordinátái, és a fehérpontja. A színtérben kikeverhető színek területe (gamut) egy háromszög a CIE xy koordináta rendszer belsejében.

## RGB színterek

Név	Fehérpont	$x_R$	$y_R$	$x_G$	$y_G$	$x_B$	$y_B$
CIE (1931) RGB	E	0.7347	0.2653	0.2738	0.7174	0.1666	0.0089
ITU-R BT.709 / sRGB	D65	0.64	0.33	0.30	0.60	0.15	0.06
NTSC (1953) / FCC 1953	C	0.67	0.33	0.21	0.71	0.14	0.08
NTSC (1987) / (SMPTE C / SMPTE 170M)	D65	0.63	0.34	0.31	0.595	0.155	0.07
PAL/SECAM (1970) / (EBU / ITU 601)	D65	0.64	0.33	0.29	0.60	0.15	0.06
Apple RGB	D65	0.625	0.34	0.28	0.595	0.155	0.07
ROMM RGB	D50	0.7347	0.2653	0.1596	0.8404	0.0366	0.0001



## RGB alapszínek

A CIE RGB alapszíneivel nem lehetett megfelelően hatékony, kellő fény­sűrűséget biztosító foszfort létrehozni. A CRT TV foszfortek­nológia fejlődésével a bevezetett RGB alapszínek (először NTSC/FCC 1953) is több változáson mentek át. Jelenleg a SMPTE C (USA), az EBU (Európa), illetve az ITU-709 (HDTV) ajánlások szerinti alapszínek a legelterjedtebbek.

## Az világosságjel (Y) az RGB alapszínekből

Az RGB alapszínek megfelelő intenzitású additív keveréséből az adott színtér választott fehérpontja előállítható.

$$Y_{FCC} = 0.299R \quad +0.587G \quad +0.114B$$

$$Y_{709} = 0.212R \quad +0.715G \quad +0.072B$$

Megjegyzés: Az NTSC/FCC együtthatókat az ITU-601-es ajánlás, valamint az EBU ajánlás is átvette (de új RGB alapszíneket, és fehérpontot definiáltak), így a további diákon ezen együtthatók szerepelnek.



### Alapszín történelem

- 1931: CIE RGB + „E” fehér 1953
- CRT-k számára RGB FCC színhármas + „C” fehér
- Mire az első képmagnók megjelennek, már mások a CRT alapszínek, ennek ellenére a szabványt nem módosítják
- A mátrixot még 1953-ben határozták meg, innen ered a sokat emlegetett Y egyenlet
- De azóta sem módosították és SD esetében már nem is fogják, hiszen a különbség a gyakorlatban alig vehető észre
- 1966: Európában a PAL bevezetésekor az EBU újradefiniálja az alapszíneket, de nem nyúl az Y koefficiensekhez (minimális gyakorlati különbség)



### Alapszín történelem

- E koeficienseket 1984-ben a 601-es szabvány is átveszi
- 1980: Az SMPTE RP 145 új színmérő rendszert definiál HD és másodsorban az NTSC rendszer számára
- Az SMPTE 240M ezt átveszi a 1035 soros HD számára
- A színmérő rendszer alapszíneit ideiglenesen átveszi a két újabb (1080 és 720: lásd később) HD rendszer
- Ezt 1995-től lecserélik az ITU 709-re, amely a HD rendszerek EU és USA színmérési szabványa





Az világosságjel ( $Y$ ) az RGB alapszínekből

Az RGB alapszínek megfelelő intenzitású additív keveréséből az adott színtér választott fehérpontja előállítható.

$$Y = 0.3R + 0.6G + 0.11B$$

Az egyenlet átrendezve

$$0 = 0.3(R - Y) + 0.6(G - Y) + 0.11(B - Y)$$

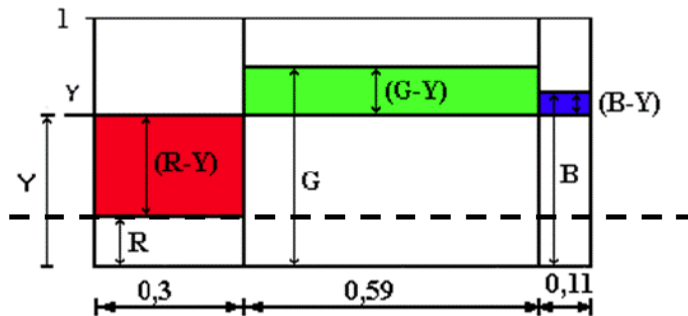


## A videotechnika színskülönbségi jelei

### Grafikus értelmezés

A két egyenlet együttesen egy területdiagramon ábrázolható egy adott RGB értékhármas esetére. Belátható, hogy az Y alatti terület egyenlő az Y feletti területtel.

$$0 = 0.3(R - Y) + 0.6(G - Y) + 0.11(B - Y)$$





## Színskülönbségi jelek

$$0 = 0.3(R - Y) + 0.6(G - Y) + 0.11(B - Y)$$

- Az (R-Y), (G-Y) és (B-Y) értékhármasok a TV technikai színskülönbségi jelei, mert világosságinformációt nem hordoznak
- Előjeles mennyiségek, az Y vízszintes vonala fölött pozitív, alatta pedig negatív a színskülönbségek előjele
- Ha két színskülönbség zérus, akkor a harmadik is nulla
- Ilyenkor R=G=B, azaz a fehérpontot kapjuk
- Ha nem a fehérpontban vagyunk, akkor a színskülönbségek közül legalább kettő zérustól eltérő



- Az Y, vagyis a fénysűrűség összetevő értéktartománya 0 ..1 : fekete szintnél 0, a csúcs fehérenél 1
- Az RGB együtthatókat tartalmazó egyenletből adódóan ugyanez az értéktartomány érvényes az R, G és B komponensekre is



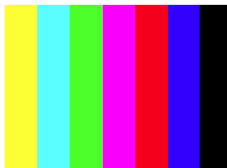
$$0 = 0.3(R - Y) + 0.6(G - Y) + 0.11(B - Y)$$

- Szintén a fenti egyenletből adódóan a színekülönbségek értéktartománya:
  - $-0,7 \leq (R - Y) \leq +0,7$
  - $-0,89 \leq (B - Y) \leq +0,89$
  - $-0,41 \leq (G - Y) \leq +0,41$
- A zöld színekülönbségi jel értéktartománya a legkisebb
- Mindig a nagyobb értéktartományú jelet érdemesebb továbbítani (jel/zaj viszony!)
- Ezért a színinformáció továbbítására a vörös (R-Y), és a kék (B-Y) színekülönbségi jeleket továbbítják
- E két jelet koordinátarendszerben ábrázolhatjuk (Pl.: vektorszóp)



## A 100% intenzitású színsávára

Az RGB, Y és színkülönbségi értékek a 100% intenzitású színsávára esetében

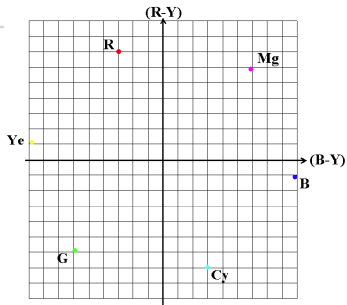


W Ye Cy G Mg R B Bl

	R	G	B	Y	(R-Y)	(B-Y)
W	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Ye	1.00	1.00	0.00	0.89	0.11	-0.89
Cy	0.00	1.00	1.00	0.70	-0.70	0.30
G	0.00	1.00	0.00	0.59	-0.59	-0.59
Mg	1.00	0.00	1.00	0.41	0.59	0.59
R	1.00	0.00	0.00	0.30	0.70	-0.30
B	0.00	0.00	1.00	0.11	-0.11	0.89
Bl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



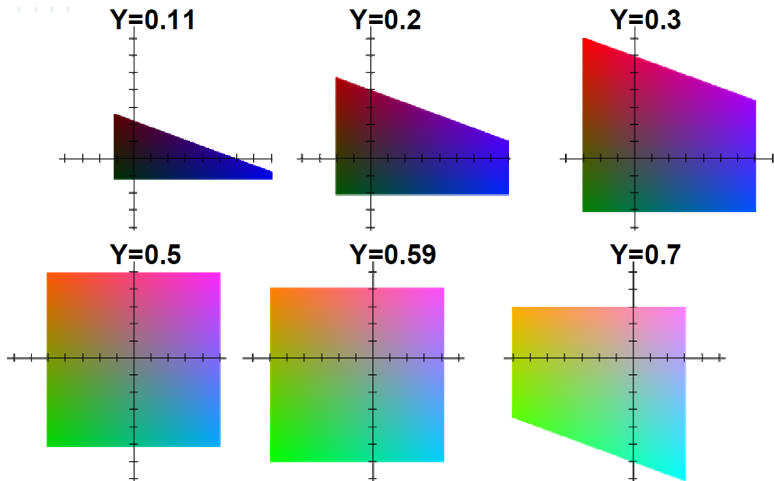
# A 100% intenzitású színsávára



	R	G	B	Y	(R-Y)	(B-Y)
W	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Ye	1.00	1.00	0.00	0.89	0.11	-0.89
Cy	0.00	1.00	1.00	0.70	-0.70	0.30
G	0.00	1.00	0.00	0.59	-0.59	-0.59
Mg	1.00	0.00	1.00	0.41	0.59	0.59
R	1.00	0.00	0.00	0.30	0.70	-0.30
B	0.00	0.00	1.00	0.11	-0.11	0.89
Bl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



# Példák B-Y,R-Y diagramokra







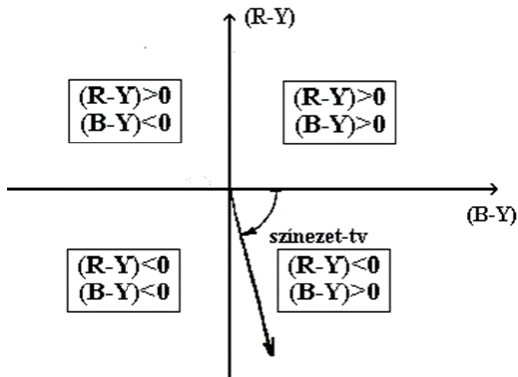
## Példák B-Y,R-Y diagramokra

- Az B-Y,R-Y diagramon ábrázolhatjuk a színeket egy rögzített Y érték mellett. Más szóval minden  $0 < Y \leq 1$  érték mellett rajzolható egy színes B-Y,R-Y diagram.
- Nyilván rögzített Y mellett nem biztos, hogy minden szín 100%-os telítettséggel van jelen a B-Y,R-Y diagramon. Például: teljesen telített kékre (R,G,B=0,0,1)  $Y=0.11$ , tehát pl.  $Y=0.5$  értékhez tartozó B-Y,R-Y diagramon csak fehérrel hígított kék található.
- A diagramon az origóban van a fehér (szürke), vagyis ahol a színekülönbségi jelek értéke nulla.
- A diagramon az origóból kiinduló félegyenesen azok a színek vannak, amelyek egymásból kinyerhetők fehér szín hozzáadásával.
- Tehát az origóból kiinduló félegyenesen az azonos színezetű, de eltérő telítettségű színek vannak. A diagramon tehát színezetet (B-Y,R-Y) helyvektor szöge írja le. Így a színezet könnyen megadható egyetlen számmal



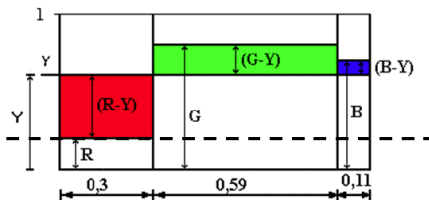
– A Színezet<sub>TV</sub>:

$$\arctan \frac{(R - Y)}{(B - Y)}$$





## A Telítettség<sub>TV</sub>



- A Telítettség<sub>TV</sub> értéke legyen a fehérpontban 0, míg az RGB alapszínek által határolt háromszög élein 1
- Eszerint ha az RGB komponensek közül egy vagy kettő nulla értékű, akkor az RGB háromszög egyik élén, ill. egyik csúcsában helyezkedik el az adott szín: ebben az esetben lehet a telítettség 1
- Ha nincs nulla értékű komponens, akkor nem lehet a telítettség 1, mert a színkoordináta elmozdult az RGB háromszög belseje felé (fehérpont felé)



– Értelmezés a területdiagramon:

- Keressük meg a legkisebb alapszín összetevőt (jelen esetben R)
- Ennek magasságában húzzunk egy vízszintes egyenest, mellyel az kérdéses alapszín kettéosztjuk
- Így kapunk egyrészt R magasságnyi fehéret, és egy kvázi-spektrálszín, mely nem tartalmaz R-t
- Ezen kvázi-spektrálszín fényűrűsége meghatározható: A fehér rész fényűrűsége R (az előbbieken alapján), míg a maradék (kvázi-spektrálszín) fényűrűsége az eredeti fényűrűség (Y) mínusz a fehér komponens fényűrűsége (jelen esetben R), ami a példában nem más, mint a vörös színkülönbségi jel (R-Y) abszolút értéke
- ezek alapján a Telítettség<sub>TV</sub> a kvázi-spektrálszín fényűrűsége osztva az eredeti szín fényűrűségével:
- $$\text{Telítettség}_{TV} = \frac{|\min(R,G,B) - Y|}{Y}$$

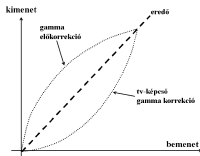


## Képcsövek gamma-torzítása

- A korai TV-k kizárólag katódsugárcsöves (CRT) kijelzővel rendelkeztek
- A CRT jelentős nemlinearitást okoz a villamos jelek látható fénné alakítása során (elektroncső vezérlőrács feszültség - elektronsugár intenzitás nem-lineáris kapcsolata)
- A képernyőn kialakuló fénysűrűség ( $L_v$ ) és a vezérlő feszültség ( $U$ ) között az ideális lineáris kapcsolat helyett a  $L_v = k U^\gamma$  kapcsolat áll fenn ahol a kitevő ( $\gamma$ ) 2,2 ... 2,5 értékű
- Ennek a nem-lineáris torzításnak a kompenzálását (gamma-korrekció) a vevőkészülék egyszerű felépítése érdekében mindig a jelforráshoz közeli ponton (pl. kamerában) hajtották végre

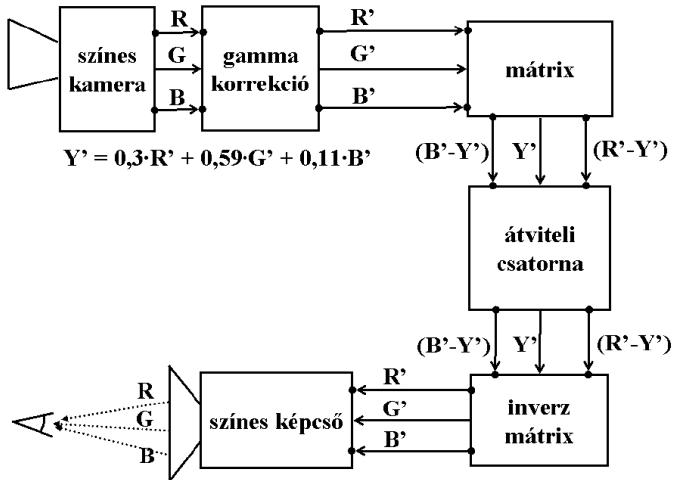
## Képcsövek gamma-torzítása

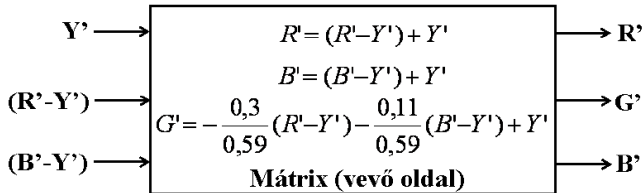
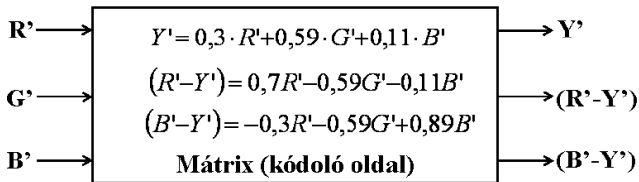
- A korrigálás elve az, hogy a továbbítandó jelet egy inverz hatványfüggvénnyel előtorzítják
- A teljes átviteli úton ez a gamma-korrigált jel halad végig
- A gyakorlatban először képezni kell az RGB alapszínek gamma-korrigált megfelelőit ( $R'=R^{\frac{1}{\gamma}}$ ,  $G'=G^{\frac{1}{\gamma}}$  és  $B'=B^{\frac{1}{\gamma}}$ )
- majd azokból (mátrixolással) a világosságjel ( $Y$ ), és a színkülönbségi jelek gamma korrigált megfelelőit (rendre  $Y'$ ,  $R'-Y'$ , és  $B'-Y'$  - a ' a gamma-előkorrigált jelet jelenti)



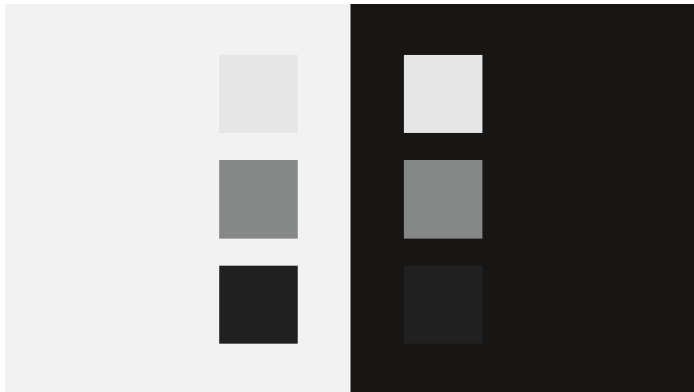


# Gamma-korrekció rendszertechnikája











- A Stevens (Bartelson-Breneman) és a Hunt hatás alapján sötét környezetben a sötét árnyalatok megkülönböztetési képessége romlik, a kép észlelt kontrasztja csökken, a színek színezettsége csökken.
- Mivel a képi reprodukció során a kijelzőn nem az eredeti jelenet fénysűrűségviszonyait (pl. jeleneten belüli max. fénysűrűség) állítjuk vissza, ezért a fenti hatások érvényesülnek



- Alkalmazástól függően (mozi, vagy iroda) a teljes optoelektromos átviteli függvény ezért nem ideálisan lineáris, hanem 1.1 - 1.5 eredő kitevőjű hatványfüggvényt jelent
- Ezt a hatványfüggvényt - mely a szubjektív kontrasztot növeli a környezeti megvilágítási viszonyok kompenzálására, és szubjektív képi élmény fokozására - a gamma-előkorrekciós nem-lineáris átviteli függvény és a tényleges megjelenítő gamma hatványfüggvény együttesen valósítja meg



## Nem-lineáris transzfer karakterisztika: összefoglaló és előzetes

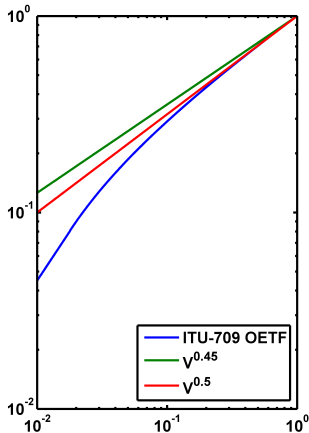
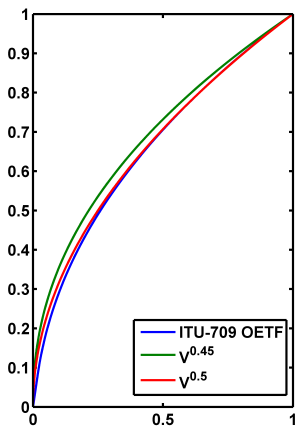
1. A CRT típusú megjelenítők nem-lineáris feszültség-fénysűrűség függvényének korrekciója
2. Megjelenítési körülmények kompenzációja: kontraszt növelése, mely az 1-nél nagyobb eredő hatványkitevő eredménye (részleteivel nem foglalkozunk)
3. Nem-lineáris (perceptuális) kvantálás - erről később

ITU-709 nem-lineáris transzfer karakterisztika, vagyis gamma-korrekciós karakterisztika

$$V' = \begin{cases} 4.500V & V < 0.018 \\ 1.099V^{0.45} - 0.099 & V \geq 0.018 \end{cases}$$

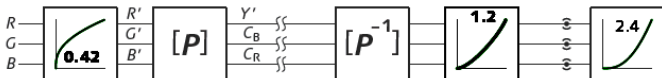
ahol  $V$  az R,G,B komponenseket jelöli. A transzfer karakterisztika a nulla közelében egy lineáris szakaszt tartalmaz (erről később). Az exponenciális szakaszban a kitevőben  $1/2.2=0.45$  szerepel. A lineáris szakasz figyelembevételével a karakterisztika egy  $1/2 = 0.5$  kitevőjű hatványfüggvényt közelít. A CRT kijelző hatványkitevője 2.4 (ennek inverze  $1/2.4=0.42$  lenne !), így az eredő karakterisztika kb.  $0.5 \times 2.4 = 1.2$

## ITU-709 nem-lineáris transzfer karakterisztika, vagyis gamma-korrekciós karakterisztika

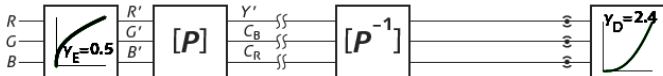


## ITU-709 nem-lineáris transzfer karakterisztika, vagyis gamma-korrekciós karakterisztika

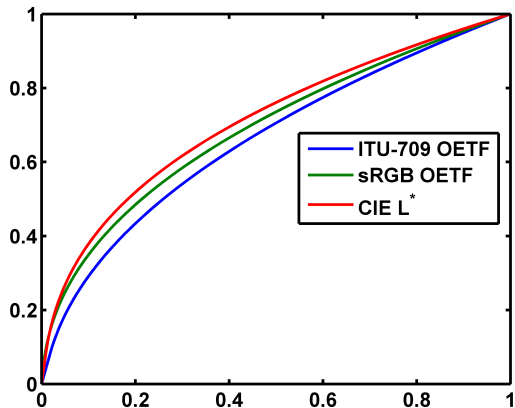
Elvi gamma-korrekciós rendszertechnika és kontraszt/telítettség kompenzáció



Kompenzáció beépítve a forrás oldali nem-lineáris transzfer karakterisztikába

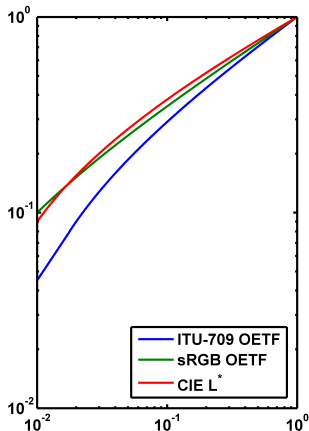
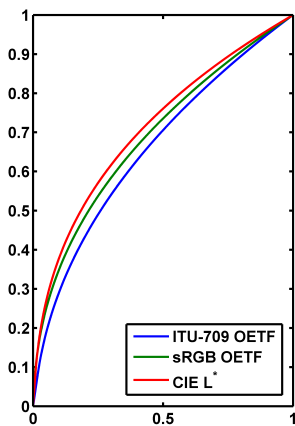


Nem-lineáris transzfer karakterisztikák (optoelectronic transfer functions), lineáris skálázás mellett





Nem-lineáris transzfer karakterisztikák (optoelectronic transfer functions), lineáris és logaritmikus skálázás mellett



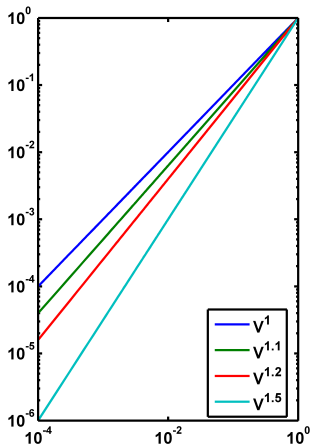
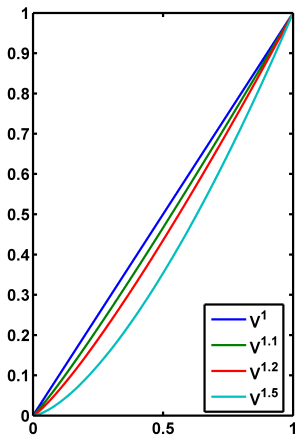


Forrás oldali, és megjelenítő oldali gamma értékek, és eredő gamma

Környezet	Forrás hatv.kit.	Megj. hatv.kit.	Eredő
Mozi (film)	$1/1.6=0.6$	2.5	1.5
HDTV (Rec. 709)	$1/2.2=0.45$ , gyak.: $1/2=0.5$	2.4	1.2
Iroda (sRGB)	$1/2.4=0.42$ , gyak.: $1/2.2=0.45$	2.4	1.1



## Eredő átviteli karakterisztikák





## Tipikus kontrasztarányok

Egy képen belüli (intra-image) legnagyobb és legkisebb fénysűrűség érték a kontraszt arány

Környezet	Max. fénysűrűség [ $cdm^{-2}$ ]	Egyidejű kontrasztarány	Világosság ( $L^*$ )
Mozi	40-50	100:1	11 .. 100
Stúdió (mastering)	100-160	1000:1	0.9 .. 100
TV (nappaliban)	100	20:1	27 .. 100
HD TV (nappaliban)	200	400:1	2-100
Iroda (sRGB)	200-300	10:1-100:1	16-50 .. 100

A táblázatban szereplő tipikus érzékek mért kontrasztarányok, melyek a kijelző/megjelenítő eszköz elvi kontrasztarányához képest rosszabbak, a megjelenítő felületéről visszaverődő szórt fények, tükröződések, stb. miatt. A szekvenciális (inter-image) kontrasztarány számottevően magasabb lehet.



## Nem-lineáris transzfer karakterisztika: összefoglaló és előzetes

1. A CRT típusú megjelenítők nem-lineáris feszültség-fénysűrűség függvényének korrekciója
2. Megjelenítési körülmények kompenzációja: kontraszt növelése, mely az 1-nél nagyobb eredő hatványkitevő eredménye
3. Nem-lineáris (perceptuális) kvantálás - erről később



## Néhány fogalom, előljáróban

### – Színterek

- Eszközfüggetlen színtér: Kolorimetrikus színterek, alapszínek nem realizálhatók (CIE XYZ, CIE LAB, CIE uv, CIE CAM...)
- Eszközfüggő színtér: A színkoordináták egy adott eszközön való megjelenítéshez szükséges információt (pl. alapszínek relatív fényességét) hordozzák. Az eszközfüggő színteret meghatározza a színkeverés módja (additív, szubtraktív), az alapszínek kolorimetrikus színkoordinátái, és a választott fehérpont.



### Néhány fogalom, előjáróban

#### – Image-state

- Scene-referred (jelenetre-vonatkoztatott): A képi adatok az adott színtérben (pl. az RGB koordináták) a leképezett jelenet valós fizikai fénysűrűség eloszlásával állnak kapcsolatban (pl. lineáris kapcsolat) A színkoordináták értéktartománya akár végtelen nagy is lehet (pl. lebegőpontos ábrázolás esetén).
- Output-referred (megjelenítőre-vonatkoztatott): A képi adatok az adott színtérben egy adott megjelenítő eszközön a kép helyes, vagy a szándékolt (esztétikus, perceptuálisan kielégítő) megjelenítéséhez szükséges fénysűrűség eloszlásával állnak kapcsolatban.

A TV műsorszórásban és TV stúdiótechnikában használatos szabványosított színterek és képformátumok (pl. ITU-709 HDTV) eszközfüggő színteret, és output-referred image state-t jelentenek.



Az sRGB színtér a HP és a Microsoft közös szabványa, a számítógépes monitorok a webes képformátumok és egyéb PC alkalmazások színtere. A legelterjedtebb ("default") számítógépes színtér.

Alapszínei és fehérpontja megegyezik a Rec. 709 RGB alapszínekkel és a D65 fehérrel. Nem-lineáris transzfer (gamma) karakterisztikája azonban eltér a Rec. 709-től, és egy  $1/2.2=0.45$  hatványú átlagos (a lineáris szakasz figyelembevételével) gamma karakterisztikát valósít meg.





## SRGB OETF

$$C_{\text{srgb}} = \begin{cases} 12.92C_{\text{lin.}}, & C_{\text{lin.}} \leq 0.0031308 \\ (1 + 0.055)C_{\text{lin.}}^{1/2.4} - 0.055, & C_{\text{lin.}} > 0.0031308 \end{cases}$$

Az OETF (forrás oldali gamma görbe) eltér az ITU-709-es OETF-től, mert világosabb megtekintési körülményeket feltételez.

Forrás-vevő közötti eredő gamma: 1.125

Fehérpontja D65, 80 cd/m<sup>2</sup> fényssűrűséggel, 64 lux tipikus környezeti megvilágítottságra (ez ellentmondásos a kb. 200 lux tipikus irodai megvilágítottsággal), és D50-es környezeti színhőmérsékletre optimalizálva. A kijelző környezetében 16 cd/m<sup>2</sup>, a tágabb környezetben 4.1 cd/m<sup>2</sup> a referencia fényssűrűség. A feketepont max. fényssűrűsége 1 cd/m<sup>2</sup>.



Az sRGB-nél nagyobb színtér lefedése volt a célja, elsősorban nyomdai-nyomtatási, illetve digitális fotó célokra. A látható színtartomány kb. 50%-át fedi le, elsősorban a cián-zöld tartományban hoz javulást az sRGB/Rec.709-hez képest, így jobban illeszkedik a nyomtatók CMYK alapszínei által kifestített színtartományhoz.

A módosított RGB alapszínek CIE xy koordinátái:

- R (CIE  $x=0.6400, y=0.3300$ )
- G (CIE  $x=0.2100, y=0.7100$ )
- B (CIE  $x=0.1500, y=0.0600$ )



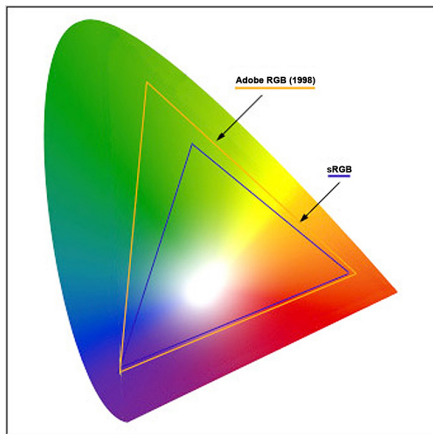
## Egyéb szinterek - Adobe RGB (1998)

---

- Nem-lineáris transzfer (gamma) karakterisztikája hasonló az sRGB-hez (1/2.2-es hatvány), azonban a nulla körüli lineáris tartomány nélkül.
- Fehérpontja D65, 160 cd/m<sup>2</sup> fényűrűséggel,
- 32 lux (fél-sötét) tipikus környezeti megvilágítottságra, és D65-ös környezeti színhőmérsékletre optimalizálva.
- A feketeszint fényűrűsége 0.55 cd/m<sup>2</sup>. (ez 1:287.9 kontrasztarányt jelent).
- A megjelenítő közvetlen környezetének fényűrűsége 20%-a a fehérpontnak (20%-os szürke), azaz 32 cd/m<sup>2</sup>.
- 8, 16, 24 bit/komponens (RGB) színkódolás, és 32 bites lebegőpontos komponens kódolás.



## Egyéb színterek - Adobe RGB (1998)





A CIE XYZ mellett az egyik legfontosabb eszközfüggetlen színtér.  
Céljai:

- Az emberi színérzékelést (metamer színek) leíró színtér legyen (mint a CIE XYZ),
- Legyen viszonylag könnyen származtatható a CIE XYZ-ből
- Perceptuálisan uniform (a színkoordináták adott mértékű változtatása azonos mértékű színinger változást jelent a teljes értéktartományban)
- A világosság összetevő (L) fejezze ki a HVS világosság érzékelését (szubjektív világosság - fénysűrűség kapcsolat)
- Jelenjen meg a HVS kromatikus adaptációs képessége (Color Appearance Model) - "rossz" von Kries transzformáció ! (lásd később)



Az  $a$  és  $b$  színkoordináták a HVS opponens színlátás modelljén alapulnak, mely jelentősen eltér a trikromatikus látásmodellétől. A LAB koordináták származtatása a CIE XYZ-ből (nemlineáris transzformáció):

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

ahol

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{ha } t > (\frac{6}{29})^3 \\ \frac{1}{3} (\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29} & \text{ha } t \leq (\frac{6}{29})^3 \end{cases}$$

és  $X_n$ ,  $Y_n$  és  $Z_n$  a kromatikus adaptációt meghatározó fehérpont (környezeti megvilágítás) CIE XYZ koordinátái.



Míg a trikromatikus elmélet azt írja le, hogy a retina receptorai (csapok három típusa) a különböző hullámhosszúságú fény komponenseket hogyan érzékelik, az opponens színelmélet azt modellezi, hogy az L,M,S csapok ingerületei (jelek) milyen feldolgozáson esnek át.

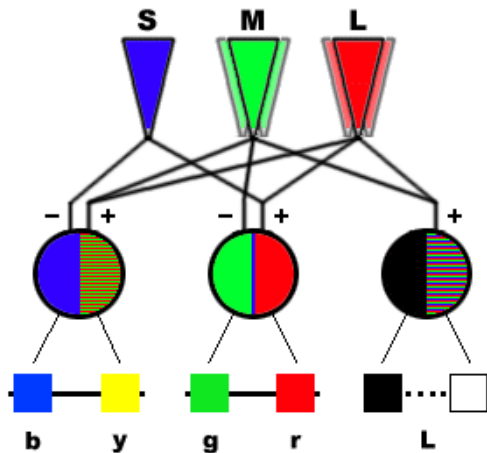
Mivel az L,M,S csapok hullámhosszfüggő érzékenysége jelentős átfedéseket mutat (redundancia), hatékonyabb az L,M,S "csatornák" különbségét feldolgozni.

A két színcsatorna:

- R-G (vörös - zöld)
- B-Y (kék-sárga)



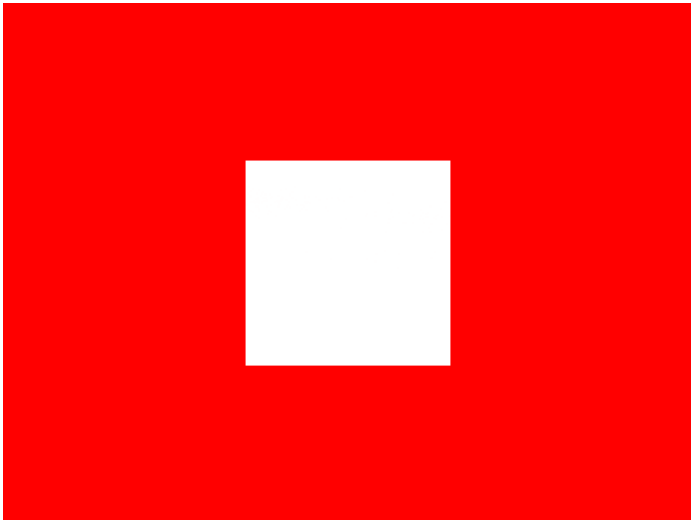
# CIE Lab - és az opponens színelmélet



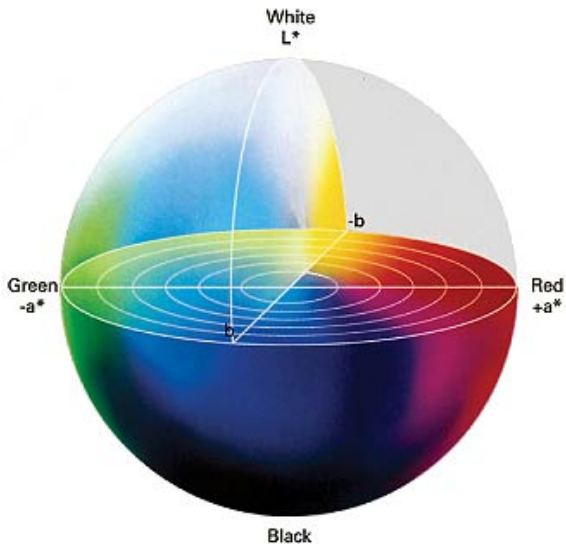




## Opponens színű utóképek (afterimage)









## Színingerek közötti különbségek kvantitatív jellemzése

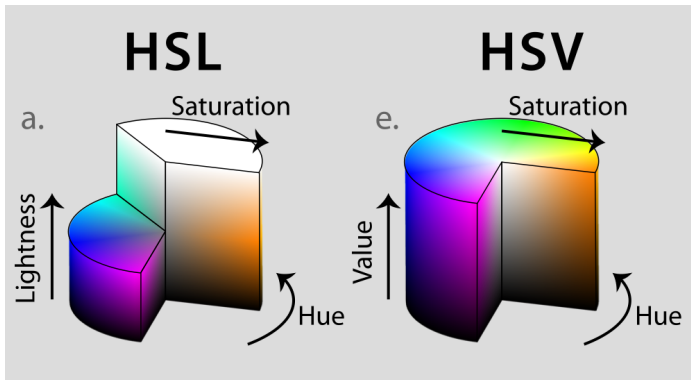
- CIE Color difference (1976) - az első objektív metrika színingerek közötti különbség kifejezésére:
- Legyen  $(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$  és  $(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$  két színiger a CIE LAB színtérben
- Ekkor  $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$
- $\Delta E_{ab}^* \approx 2.3$  a két színiger között még éppen érzékelhető különbség (JND: Just Noticeable Difference)

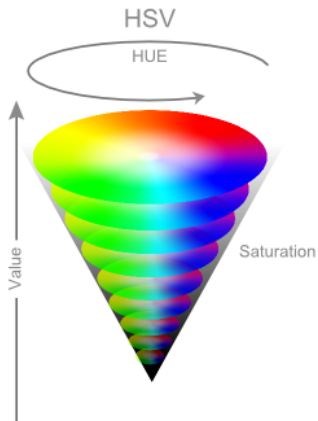
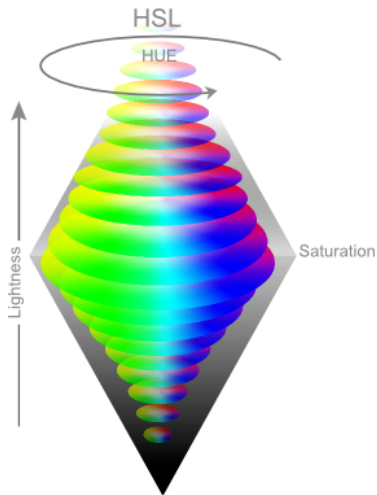
Céljuk elsősorban az, hogy számítógépes grafikai, nyomdai alkalmazások céljára az RGB színteret a felhasználó számára intuitívabbá tegyék, a színkoordináták az ember által érzékelt szubjektív fogalmakhoz adaptáltak legyenek.

- Világosság: L (lightness), vagy V (Value)
- Színezet: Hue
- Telítettség: Saturation

A HSL/HSV színkoordináták egy adott RGB színtér transzformációjából származtathatók, így a HSV/HSL színkoordináták által reprezentált szín függ az RGB alapszínek megválasztásától (nem eszközfüggetlen színtér).

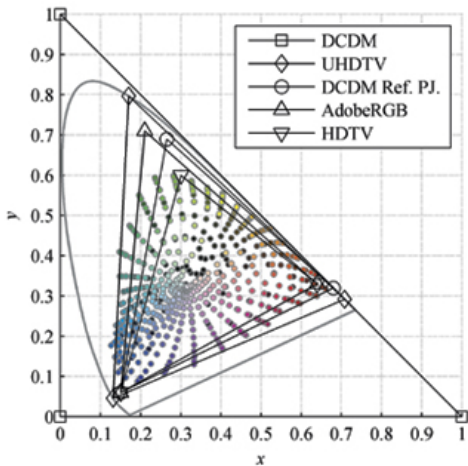
Többféle módon definiálták a HSL/HSV színtereket (szoftverfüggő), pontos definíciójukkal nem foglalkozunk.







## Pointer-féle valós felületi színek (1980)





- Az  $Y'$  jel tehát a nem-lineáris transzfer karakterisztikával gamma-előkorrigált alapszínjelek súlyozott összege
- Az  $Y'$  jelet a magyar szóhasználatban általában változatlanul, világosságjelként, angolul luma-ként (nem luminance !) nevezik
- A komponens video rendszerekben 3 komponenst kell egymástól függetlenül kezelni
- Kihhasználva az emberi látórendszer színekre vonatkozó kisebb érzékenységét (elsősorban térbeli felbontásigény), általában nem az  $R'$ ,  $G'$  és  $B'$  alapszínjeleket, hanem a teljes sávszélességű  $Y'$  jelet, és a csökkentett sávszélességű két színkülönbségi jelet ( $R'-Y'$ , és  $B'-Y'$ ) továbbítjuk/tároljuk



$Y'U'V'$ :

Kompozit PAL és NTSC ( $Y'I'Q'$ ) rendszerekben. Az  $U'$  és  $V'$  jelek a  $(B' - Y')$  és  $(R' - Y')$  jelek megfelelően skálázott, korrigált megfelelői. A világosságjelre ültetett modulált színsegédvívó belefér a világosságjel dinamikatartományába. A mai analóg és digitális komponens (stúdió)-rendszerekben már nem használják, csak a hagyományos analóg műsorszórás esetén a kisugárzás céljára



$Y'P'_BP'_R$ :

Komponens analóg rendszer, a két színkülönbségi jelet előre definiált módon skálázzák/korrigálják és analóg szűrőkkel a világosságjel sávszélességének felére korlátozzák. Az interfész konkrét megvalósításai különbözőek az EBU/SMPTE, a Sony és a Panasonic specifikációi szerint

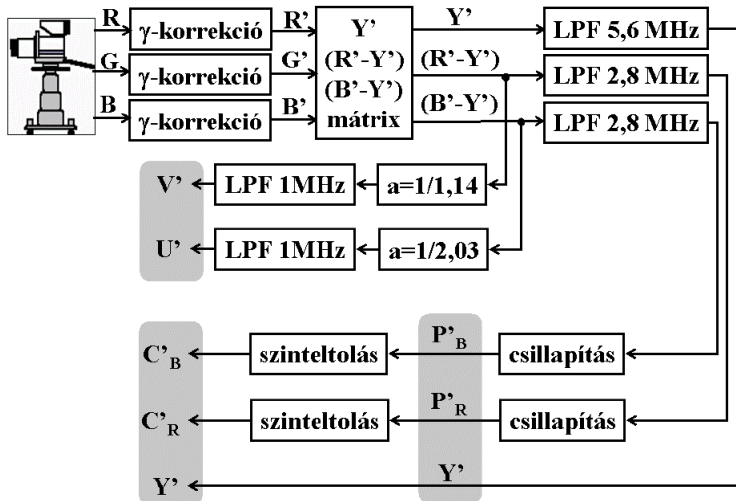


$Y' C'_B C'_R$ :

Komponens digitális rendszer, a két színkülönbségi jelet az A/D átalakítás kivezérlési tartományához illesztés céljából skálázzák/korrigálják, majd a mintavételi struktúrának (pl. 4:2:2, 4:2:0, stb.) megfelelően alul-mintavételezik



# SD videojel-komponens előállítás





Komponens	Összefüggés	Dinamika
$Y' =$	$0,299 \cdot R' + 0,587 \cdot G' + 0,114 \cdot B'$	$0 \dots 1$
$V' =$	$(R' - Y')/1,14 = 0,877 \cdot (R' - Y')$	$-0,62 \dots +0,62$
$U' =$	$(B' - Y')/2,03 = 0,493 \cdot (B' - Y')$	$-0,44 \dots +0,44$

Az  $Y'$  0 - 1 értéktartománya feszültségben = 0 - 700 mV



Komponens	Összefüggés	Dinamika
$Y'$	$0,299 \cdot R' + 0,587 \cdot G' + 0,114 \cdot B'$	$0 - 1$
$P'_R$	$(0,5/0,7) \cdot (R' - Y') = 0,713 \cdot (R' - Y')$	$-0,5 \dots +0,5$
$P'_B$	$(0,5/0,89) \cdot (B' - Y') = 0,564 \cdot (B' - Y')$	$-0,5 \dots +0,5$
$C'_R$	$P'_R + 0,5 = 0,713 \cdot (R' - Y') + 0,5$	$0 - 1$
$C'_B$	$P'_B + 0,5 = 0,564 \cdot (B' - Y') + 0,5$	$0 - 1$

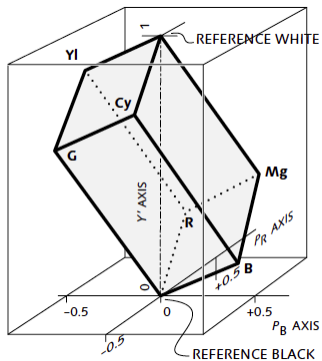
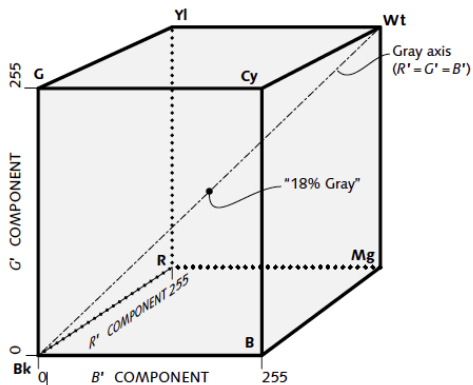
**Az  $Y'$  értéktartománya feszültségben:  $0 - 700 \text{ mV}$**

**A  $P'_B/P'_R$  értéktartománya feszültségben:  $\pm 350 \text{ mV}$**

**A  $C'_B/C'_R$  értéktartománya feszültségben:  $0 - 700 \text{ mV}$**



# R'G'B' - Y'PbPr színtér összehasonlítás







Látható, hogy a legális R'G'B' értékekből adódó Y'PbPr értékek az Y'PbPr egység-kocka térfogatának csak kb. az 1/4-ét foglalják el, szemben a teljesen kitöltött R'G'B' egység-kockával (a maradék térfogat legális Y'PbPr kombinációkat jelent, de tartományon kívül eső (invalid) R'G'B' értékekhez vezetnek). Jel-zaj viszony szempontjából így az Y'PbPr komponens-tér nem optimális, de ezt a hátrányt a színkülönbségi jelek sávkorlátozásának/alul-mintavételezésének lehetőségében rejlő előny felülmúlja.



## Y'CbCr digitális jelszintek (8 bit/komponens)

- 8 bites komponens ábrázolás esetén célszerű lenne a 0..255 tartományt megfeleltetni az Y' jel 0..1 tartományának - ezt szinte csak a JPEG szabványban használják (full-swing)
- A lehetséges túllövések/alullovések (pl. szűrők kimenetén megjelenő oszcillációk) DSP kezelésére headroom/footroom tartomány biztosított
- Az Y' jel feketeszintje: 16 (offset), fehérszintje  $16+219=235$
- A Cb/Cr jelek 0 szintje: 128 (offset), max szintje  $128+112=240$ , min. szintje:  $128-112=16$
- Így az Y' jel tartománya:  $[0..219]+16$ , a Cb és Cr jelek tartománya:  $[-112..+112]+128$
- A 0 és a 255 szintek tiltottak, szinkronizálási célokat szolgálnak
- A 10, ill. 12 bites interfész megtartotta a 8 bites szintjeit, és tiltott kódjait, kiegészítve 2, ill. 4 LSB bittel

$$R'_{digi} = 219 \cdot D \cdot R' + 16 \cdot D$$

$$G'_{digi} = 219 \cdot D \cdot G' + 16 \cdot D$$

$$B'_{digi} = 219 \cdot D \cdot B' + 16 \cdot D$$

$$Y'_{digi} = 219 \cdot D \cdot Y' + 16 \cdot D \quad D = 2^{n-8}$$

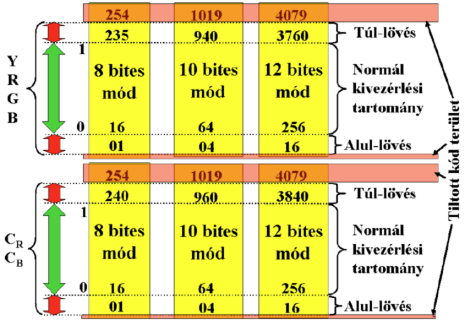
$$C'_{Rdigi} = 224 \cdot D \cdot C'_R + 128 \cdot D$$

$$C'_{Bdigi} = 224 \cdot D \cdot C'_B + 128 \cdot D$$

$R', G', B', Y'$  dinamika tartománya: 0 - 1

$C'_R$  és  $C'_B$  dinamika tartománya itt: -0,5 - +0,5

n pedig a mintánkénti bitszám: 8, 10, 12 bit





## Valóságos képek

- Folytonosak térben  $(x,y)$
- Folytonosak időben  $(t)$
- Folytonosak színben  $(\lambda)$
- Intenzitásban, telítettségben, stb.
- Reprezentáció pl:  $R'(x,y,t), G'(x,y,t), B'(x,y,t)$  vagy  $Y'(x,y,t), R'-Y'(x,y,t), B'-Y'(x,y,t)$ , stb
- Ez nem kezelhető/tárolható, stb



## Digitális ábrázolás

- Diszkrét koordináták mind térben, mind időben
- Diszkrét számú komponens: 3 (néha 4) komponens
- Komponensenként diszkrét számú szint (256,512, stb)
- Reprezentáció:  $Y'(i,j,k)$ ,  $Cb(i,j,k)$ ,  $Cr(i,j,k)$
- Fontos a **mintavételi frekvencia** helyes megválasztása
- és a komponensek **mintánkénti bitszáma**

## Digitális ábrázolás előnyei

- Immunitás a tárolási, rögzítési torzítással, és zajjal szemben
- Hibajavító képesség biztosítható hibakorrekciós eljárás alkalmazásával
- Digitális adatfolyamok egyszerűen multiplexálhatók
- Tárolás, feldolgozás, manipuláció egyszerűbb, és hatékonyabb
- Könnyen integrálható különböző multimédiás tartalmakkal
- Digitális áramkörök üzemeltetése (pl. beállítás), karbantartása egyszerűbb, olcsóbb



- A látás a fő látótérben függőlegesen kb. 9-10 fokos szögtartományt ölel fel
- Vízszintesen (a **periférikus tér nélkül**) kb. 4:3 arányban nagyobb a látótér
- Az átlagos néző HVS-nek térbeli felbontóképessége korlátozott.



- A televíziós kijelző sor (pixel) struktúrája ne legyen észrevehető, és zavaró,
- Ehhez a szomszédos pixelekből, illetve az egymás alatti sorokból a szemünkbe érkező fénysugarak bezárt szöge ne legyen nagyobb, mint a látás szögfelbontás határa (1 szögperc)
- Színes kép esetén az additív színkeverést nem kell elvégezni a képernyőben, ha a képpont mérete a fenti gondolatmenetet figyelembe véve elegendően kicsi.
- A szögfelbontás 1 szögpercnél kisebbre csökkentéséhez a sortávolságból számítható minimális nézőtávolságra kell legalább ülni
- Ez a kiindulópontja minden (SDTV, HDTV, UHD TV) televíziós szabvány, illetve képfelbontás tervezésének





## Képváltási gyakoriság (képfrekvencia) és letapogatás módja

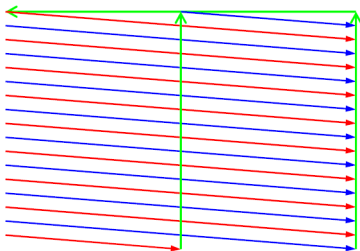
- Ahhoz, hogy egy folyamatosan változó képelem ne villogjon (fúziós frekvencia!), a képelem váltása nem lehet 50-60 Hz-nél kisebb.
- A fúziós frekvencia alatt a képelem villogni fog.
- Ahhoz, hogy egy folyamatosan mozgó képelemet folyamatosan mozgónak lássunk, elegendő csupán 20-30 Hz gyakorisággal felrajzolni a mozgás fázisait (nyugvó szem mellett).
- Ugyanazt a képet 2-3-szor felrajzolva nem látható villogás és a mozgás is folytonosnak hat (mozi).
- Ugyanazt 2-szer elküldeni sem sávszélesség hatékony módszer, és a teljes kép analóg tárolása nem volt megoldható, ezért kezdetben (SD) a 2 félképes felbontást választották.

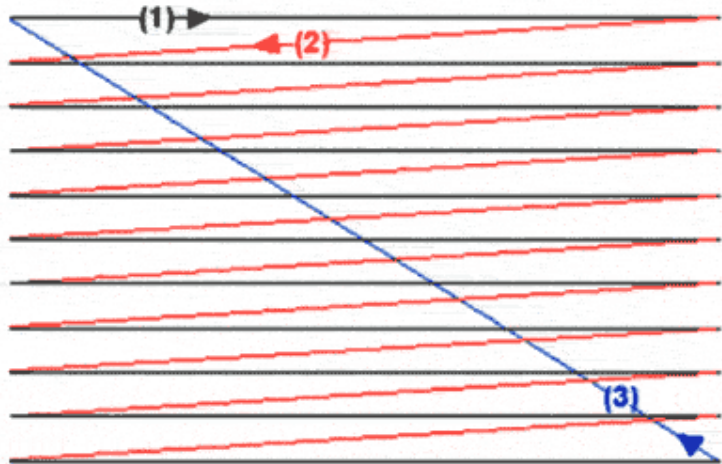


- A két félképes felbontás lényege:
- A teljes képek 25 Hz (EU) / 30 Hz (USA) gyakorisággal követik egymást.
- Egy kép két félképből áll:
  - páros sorok (páros félkép)
  - páratlan sorok (páratlan félkép)
- Az azonos képhez tartozó félképeket egymás után küldjük el, először a páratlant, aztán a párosat. A félképváltás frekvenciája így 50 Hz (60 Hz) lesz, ami által a képernyő tartalma már nem fog villogni.



- Csak egyfajta függőleges és vízszintes visszafutás kell.
- A teljes képen páratlan sorszám van, ezért:
  - a legelső sor csak félig van meg, a sor felénél a függőleges visszafutás lép életbe,
  - emiatt az ezt követő legfelső sor is csak fél sor.







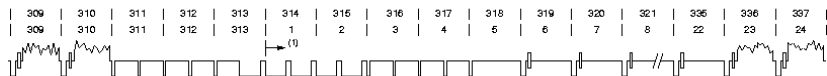
- Kezdetben a félképfrekvencia megválasztásánál az erősáramú hálózat frekvenciáját vették figyelembe
- A hálózati brumm a képen mozgó zajként jelenik meg, ha a két frekvencia jelentősen eltér (az álló zavarkép kevésbé zavaró, mint a mozgó).
- Európa, Ázsia: 625 sor (aktív sorok száma: 576), 50 Hz félkép, 25 Hz kép,  $625 \times 25 = 15625$  Hz sorsfrekvencia.  
Formátumjelölés: 576i
- Amerika, Japán: 525 sor (aktív sorok száma: 480), 60 Hz félkép, 30 Hz kép,  $525 \times 30 = 15750$  Hz sorsfrekvencia.  
Formátumjelölés: 480i
- Aktív oszlopok száma: 720 (704). **Nem négyzetes pixelek !**



# Analóg SD TV jel felépítése

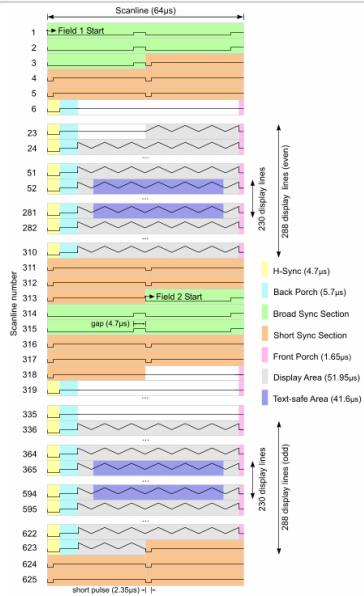


1st field



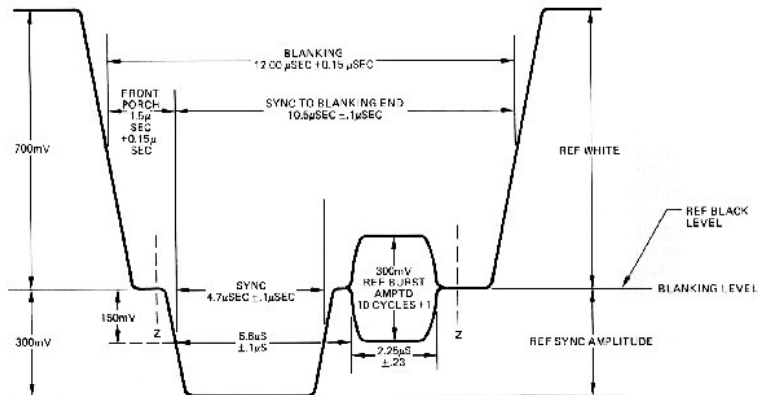
2nd field

# Analóg SD TV jel felépítése





# Analóg SD TV jel felépítése





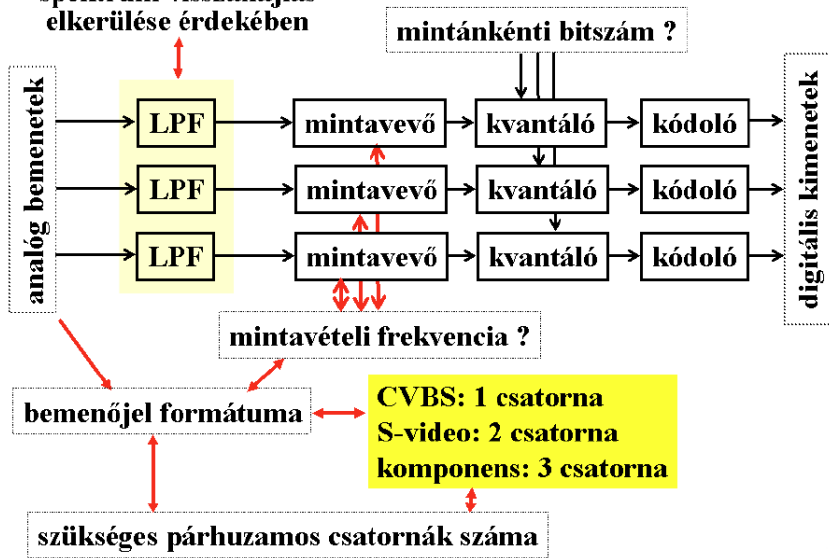


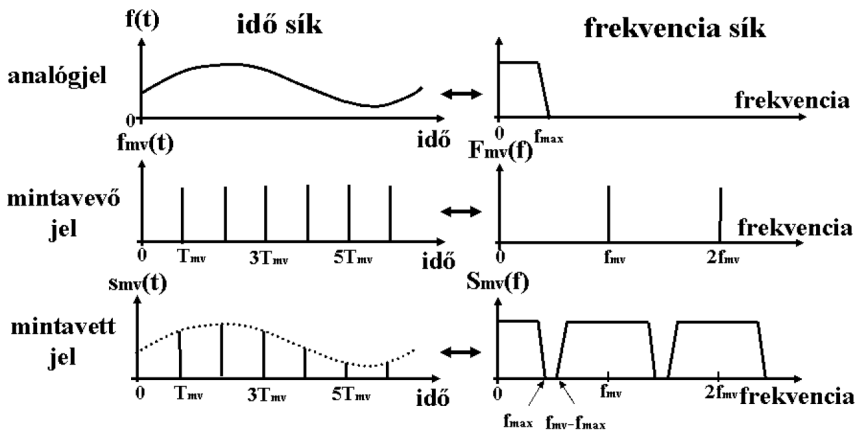
## Az A/D átalakítás kritikus kérdései

- Általánosságban, az A/D átalakítás kényes pontja a spektrum visszahajlás elleni analóg szűrő megvalósítása
- A szűrővel szembeni két kritikus követelmény
  - A Nyquist frekvencián és afölött mindent elnyomjon
  - Az áteresztő sávban amplitúdó és fázismenet hibát ne okozzon
- Ugyanakkor a mintavételi frekvenciát a Nyquist tétel szerinti elvi legkisebbre szeretnénk választani, hogy a digitális információ mennyisége minél kisebb legyen

# Digitalizálás kritikus kérdései

spektrum visszahajlás  
elkerülése érdekében

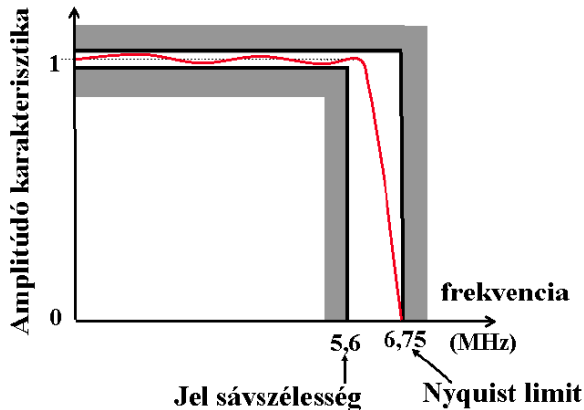






## SD-video: elvárt szűrőkarakterisztika

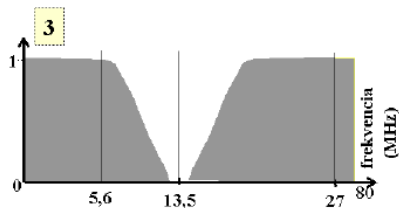
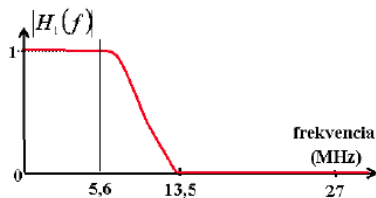
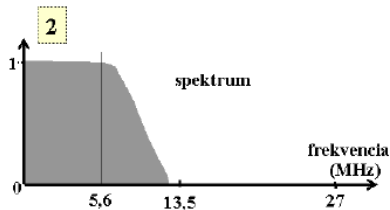
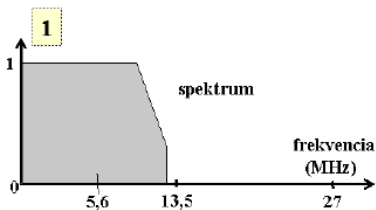
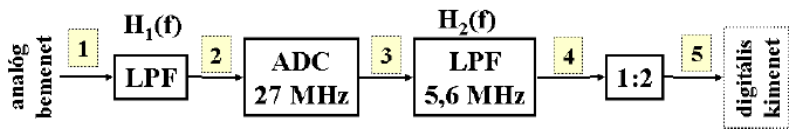
ITU-601: világosságjel mintavételi frekvencia: 13,5 MHz,  
sávszélesség: 5,6 MHz



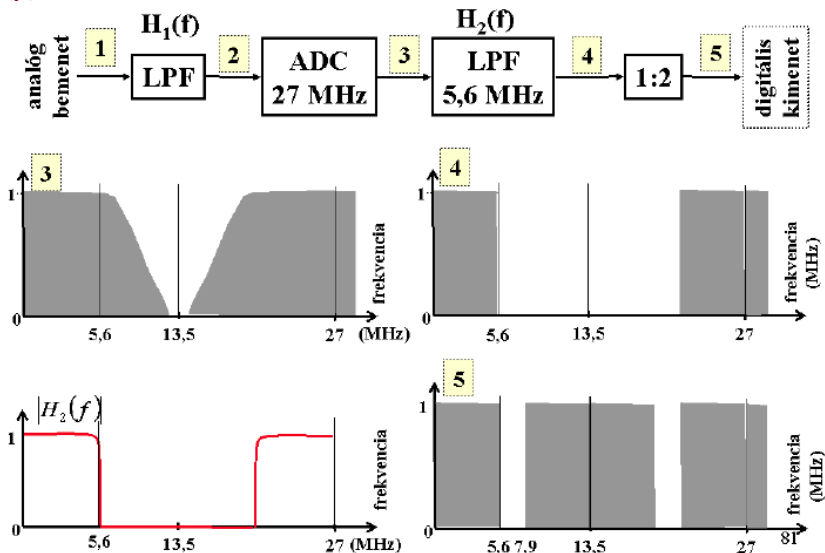


- A szűrő átmeneti frekvencia tartománya nagyon kicsi (5.6 MHz - 6.75 MHz)
- Ezt hagyományos szűrővel nehéz megvalósítani
- Túlmintavételezés során a Nyquist-tétel alapján szükséges mintavételi frekvencia többszörösét alkalmazzuk
- Az ITU 601-es videó kétszeres túlmintavételezése során a mintavételi frekvencia 27 MHz

# ITU-601 SD video túlmintavételezés I.



## ITU-601 SD video túlmintavételezés II.



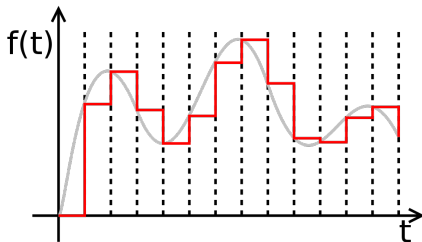


- A hagyományos analóg anti-aliasing szűrőkkel szemben támasztott követelmények tehát szigorúak: 1 dB-nél kisebb csillapítás legyen  $0.4f_s$  alatt, tehát kb 5.5 MHz-ig
- 40-50 dB körüli csillapítás legyen 6.75 MHz fölött
- A túlmintavételezéses A/D 27 MHz-en működik: egy egyszerű analóg szűrő csillapítja a 13.5 MHz fölötti komponenseket, de az átmeneti tartománybeli (5.5 - 13.5 MHz között) viselkedése nem kritikus
- A 2:1 decimálás előtti 5.6 MHz fölötti anti-aliasing szűrés digitálisan valósul meg, tipikusan FIR szűrő alkalmazásával





- A D/A átalakítók jellemzően zero-order-hold kialakításúak, vagyis nem ideális impulzussorozat a kimenetük (melynek aluláteresztő szűrésével az eredeti analóg jel visszaállítható lenne)





## D/A konverzió korrekciója II.

- Tehát a D/A kimenetén, szűrés előtt

$$x_{\text{ZOH}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \text{rect}\left(\frac{t-T/2-nT}{T}\right), \text{ ahol}$$

$$\text{rect}(t) = \begin{cases} 0 & \text{ha } |t| > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{ha } |t| = \frac{1}{2} \\ 1 & \text{ha } |t| < \frac{1}{2}. \end{cases}$$

- Ez tekinthető az  $x[n]$  diszkrét idejű impulzussorozat

$h_{\text{ZOH}}(t) = \frac{1}{T} \text{rect}\left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2}\right)$  impulzusválaszú szűrővel való konvolúciójának, ahol

$$h_{\text{ZOH}}(t) = \frac{1}{T} \text{rect}\left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2}\right) = \begin{cases} \frac{1}{T} & \text{ha } 0 \leq t < T \\ 0 & \text{egyebkent} \end{cases}$$



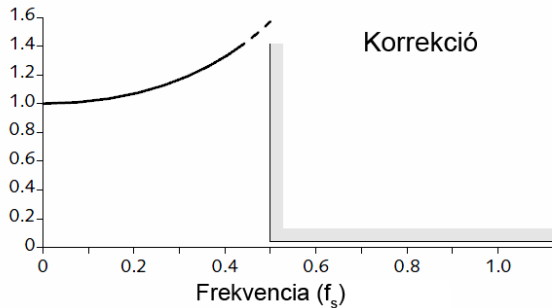
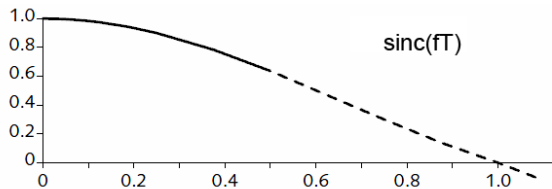
## D/A konverzió korrekciója III.

- A  $h_{\text{ZOH}}(t)$  szűrő amplitúdókarakterisztikáját megkapjuk a Fourier transzformáltjából:

$$H_{\text{ZOH}}(f) = \mathcal{F}\{h_{\text{ZOH}}(t)\} = \frac{1 - e^{-i2\pi fT}}{i2\pi fT} = e^{-i\pi fT} \text{sinc}(fT), \text{ ahol} \\ \text{sinc}(fT) = \frac{\sin(\pi f/f_s)}{(\pi f/f_s)}$$

- A  $\sin(\pi f/f_s)/(\pi f/f_s)$  karakterisztikájú amplitúdómenet jelentős csillapítást eredményez a Nyquist-frekvencia közeli tartományokban, így ennek korrekciója a nagyfrekvenciás képtartalom megfelelő reprodukálásához elengedhetetlen
- A D/A kimeneti aluláteresztő szűrő karakterisztikájába egy inverz- $\sin(x)/x$  jellegű közelítés kerül megvalósításra
- Esetenként a konverziót a digitális mintákon egy elő-konverziós FIR szűrővel hajtják végre

# D/A konverzió korrekciója IV.





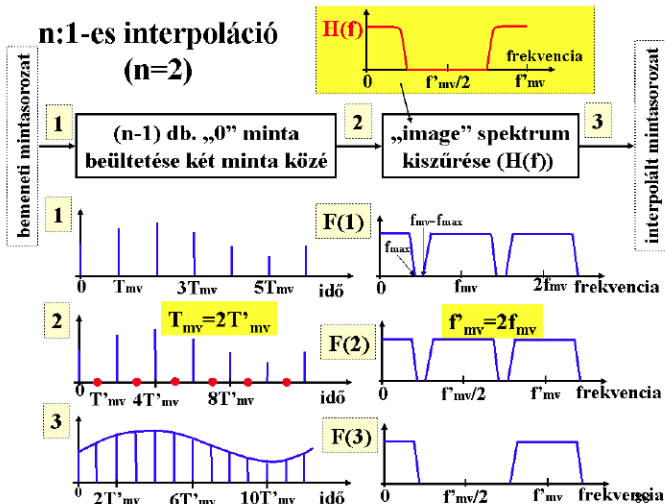
Videó esetén gyakori feladat, hogy egy mintasorozat mintáit konvertálni kell, mintha azokat más időpontokban, más fázishelyzettel, vagy eltérő mintavételi frekvenciával vettük volna. Az újramintavételezés (resampling) leggyakoribb alkalmazási példái:

- Színminták alul-mintavételezése (chroma subsampling)
- HD/SD képméret konverzió (downsampling)
- SD/HD képméret konverzió (upsampling)
- Képméretarány konverzió
- Különböző mintavételi frekvencia konverziók
- Digitális videó effektek (DVE)



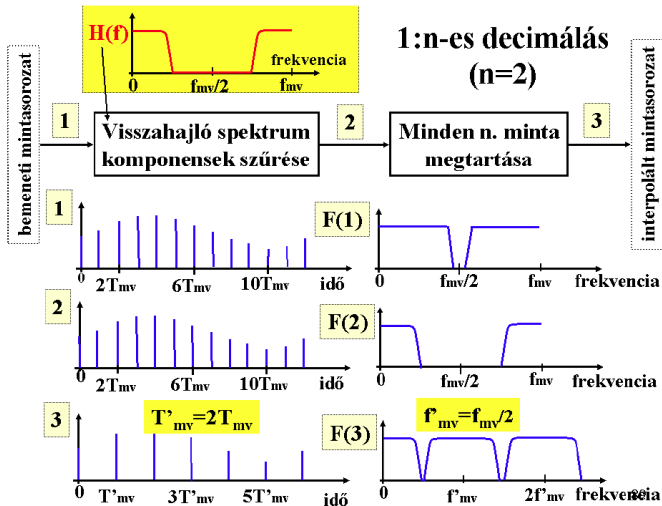
# 1:N interpolálás

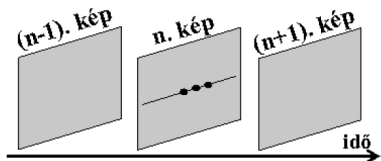
## n:1-es interpoláció (n=2)



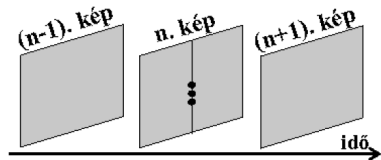


# N:1 decimálás

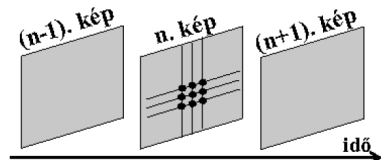




**vízszintes mintavételezés ( $\Delta x$ )  
vízszintes térbeli frekvencia  
tartomány**



**függőleges mintavételezés  
függőleges térbeli frekvencia  
tartomány**



**2-D térbeli mintavételezés  
térbeli frekvencia tartomány**



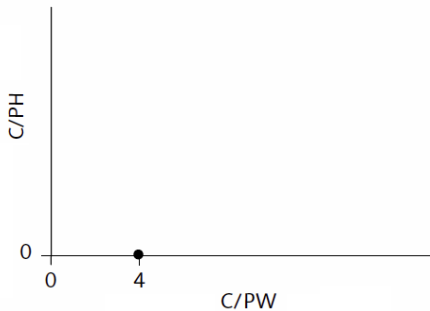
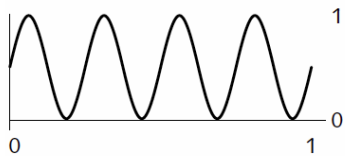


## Szemléletes definíció

Szinuszos (álló)képtartalom esetében a jel átlagszintjén átmenő három egymást követő nullátmenet közötti térbeli távolság reciproka

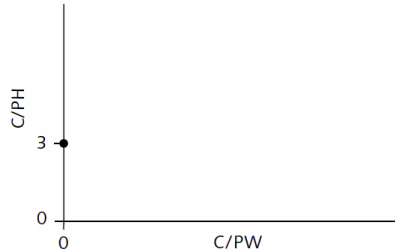
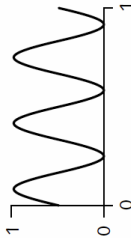
## Jelölés

- $u$ : vízszintes térbeli frekvencia
  - $u = \frac{W}{d_x} [\text{ppw}]$
  - $W$ : a kép szélessége
  - $d_x$ : a szinusz periódus szélessége
  - ppw: period per picture width
  - $c/\text{pw}$ : cycles per picture width
- $v$ : függőleges térbeli frekvencia
  - $v = \frac{H}{d_y} [\text{pph}]$
  - $H$ : a kép magassága
  - $d_y$ : a szinusz periódus magassága
  - pph: period per picture height
  - $c/\text{ph}$ : cycles per picture height





## Térbeli frekvencia értelmezése III.





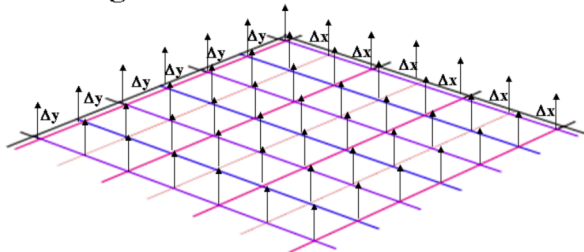
A képfelület információ tartalma fekete-fehér kép esetén egyetlen  $f(x, y)$  függvénnyel, míg színes kép esetén három két változós függvénnyel adható meg. Ezek a függvények lehetnek pl. az  $R'(x,y)$ ,  $G'(x,y)$  és  $B'(x,y)$ .

Ha az adott  $f(x, y)$  komponens eleget tesz a Fourier transzformáció feltételeinek (szakaszonként folytonos, integrálja véges, stb.), akkor az  $f(x,y)$  2D Fourier transzformáltját:

$$F(jv, j\nu) = \int \int f(x, y) e^{-j(vx + \nu y)} dx dy$$

ahol  $v$  és  $\nu$  térbeli körfrekvencia, ahol  $v = 2\pi u$  és  $\nu = 2\pi v$ .

## Ortogonalis 2D mintavételi rács



A folytonos jel  $F(jv, j\nu)$  spektrumából a mintavett jel spektruma:

$$F^*(jv, j\nu) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} F\left(j\left(v - k \frac{2\pi}{\Delta X}\right), j\left(\nu - l \frac{2\pi}{\Delta Y}\right)\right)$$

ahol  $v$  és  $\nu$  térbeli körfrekvencia, és  $v = 2\pi u$  és  $\nu = 2\pi v$ .



## Értelmezés

$$F^*(j\nu, j\nu) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} F\left(j\left(\nu - k\frac{2\pi}{\Delta x}\right), j\left(\nu - l\frac{2\pi}{\Delta y}\right)\right)$$

ahol  $\nu$  és  $\nu$  térbeli körfrekvencia, és  $\nu = 2\pi u$  és  $\nu = 2\pi v$ .

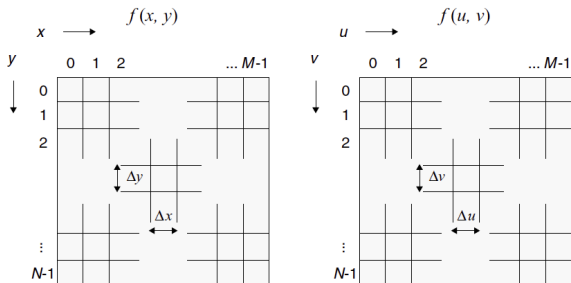
- A mintavételi távolság (idő analógia: mintavételi idő) vízszintesen  $\Delta x$ , függőlegesen  $\Delta y$ .
- A mintavételi körfrekvencia tehát  $\nu_s = \frac{2\pi}{\Delta x}$  és  $\nu_s = \frac{2\pi}{\Delta y}$ .
- Hasonlóan, a mintavételi frekvencia:  $u_s = \frac{1}{\Delta x}$  és  $v_s = \frac{1}{\Delta y}$ .



Értelmezés diszkrét mintákon (diszkrét spektrum, véges tartójú jel)

$$F^*(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[m, n] e^{-j2\pi(\frac{mk}{M} + \frac{nl}{N})}$$

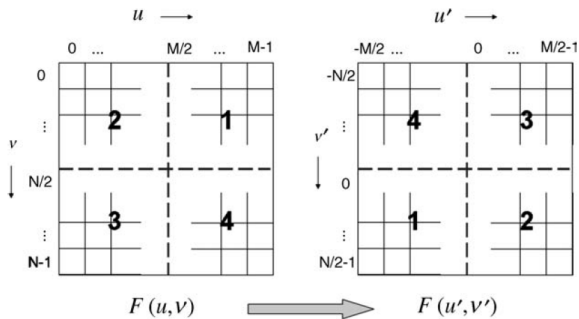
ahol  $m$  és  $n$  a rácsponatok  $x$ , illetve  $y$  koordinátáinak indexei, és  $M$  a kép szélessége pixelben,  $N$  a kép magassága pixelben.



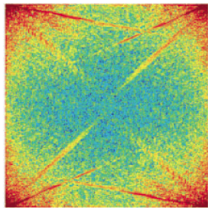
DFT térbeli frekvenciafelbontása

$$\Delta u = \frac{1}{M\Delta x} \quad \Delta v = \frac{1}{N\Delta y}$$

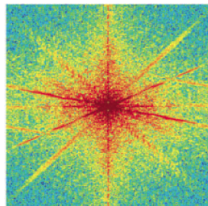
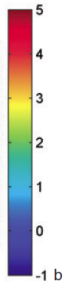
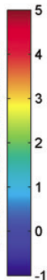




$$F(u', v') = F\left(u - \frac{M}{2}, v - \frac{N}{2}\right)$$

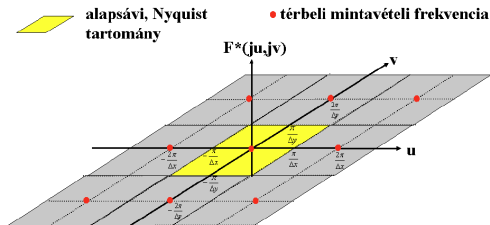


2D DFT

origóra középpontosított  
2D DFT



## 2D Nyquist mintavételi tétel



A Nyquist-féle mintavételi tétel 2D-ben (szögfrekvenciában és frekvenciában kifejezve):

$$v \leq \frac{\pi}{\Delta x}$$

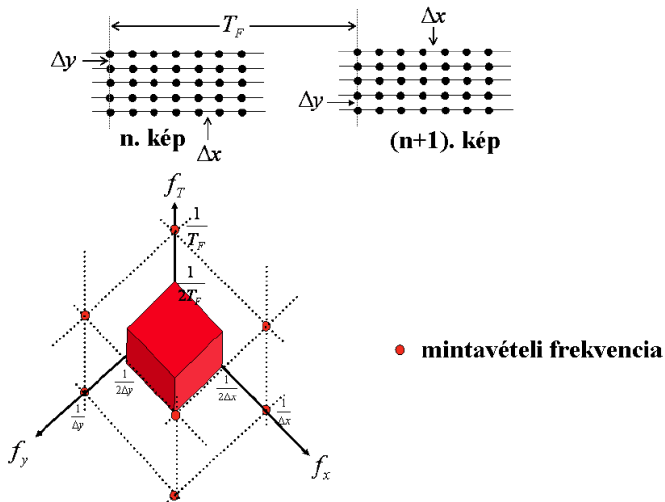
$$u \leq \frac{1}{2\Delta x}$$

$$v \leq \frac{\pi}{\Delta y}$$

$$v \leq \frac{1}{2\Delta y}$$

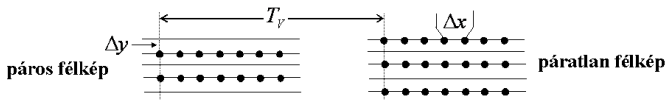


# Mintavételi tétel progresszív mozgóképre

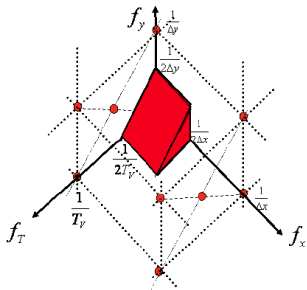




# Mintavételi tétel váltott soros mozgóképre



- **mintavételi frekvencia**



- **A váltott-soros technika adattömörítés**
- **A HVS integráló hatása miatt alig észrevehető**
- **Állóképre tökéletes**
- **Gyors mozgás esetén gondot okoz**
- **Teljes adattömörítési faktora: 2**
- **$Y, C_R, C_B$  választással további 2-es faktor**
- **Együttesen 4-es kompresszió**



## 2D diszkrét konvolúció

$$y[m, n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} x[k, l] h[m-k, n-l] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} h[k, l] x[m-k, n-l]$$

vagyis

$$y[m, n] = x[m, n] \star h[m, n]$$

A 2D szűrési feladatok esetében leggyakrabban véges impulzusválaszú (FIR) szűrőket alkalmaznak. Képfeldolgozásnál fontos a lineáris fázismenet, mely csak FIR szűrővel valósítható meg. Természetesen igaz, hogy

$$Y(u, v) = X(u, v)H(u, v)$$

ahol  $X(u, v)$  az  $x[m, n]$ -jel (diszkrét)-Fourier transzformáltja, és  $H(u, v)$  a szűrő 2D impulzusválaszának ( $h[m, n]$ ) (diszkrét)-Fourier transzformáltja

## Szeeparábilis 2D szűrés

A 2D konvolúció szétválasztható, ha

$$h[m, n] = h_1[m]h_2[n]$$

és ekkor természetesen

$$H(u, v) = H_1(u)H_2(v)$$

Ekkor

$$y[m, n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} x[k, l]h_1[m-k]h_2[n-l]$$

vagyis a 2D szűrés 2 1D szűrésként elvégezhető (pl. a kép soraira, majd oszlopaira)

$$y[m, n] = \sum_k h_1[m-k] \sum_l h_2[n-l]x[k, l]$$

## Szeeparábilis 2D szűrés

Szeeparábilis 2D FIR szűrő esetén tehát a  $\mathbf{H} = h[m, n]$  együttható-mátrix felírható két 1D FIR szűrő együttható-vektorának ( $h_1[m]$  és  $h_2[n]$ ) diadikus szorzataként.

$$\mathbf{H} = \mathbf{h}_1 \mathbf{h}_2^T$$

A szeeparábilis szűrők előnye a könnyű implementálhatóság, valamint a hagyományos 1D szűrőtervező eljárások használatának lehetősége.

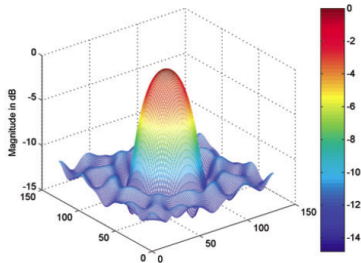
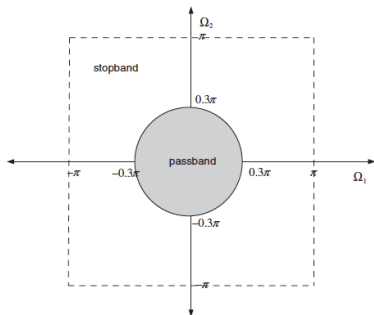


## Nem-szeperálabilis 2D szűrés

Tipikus példák a cirkulárisan szimmetrikus  $h[m, n]$  együtthatómátrixok

$$h[m, n] = w(\sqrt{m^2 + n^2})$$

ahol  $w()$  egy cirkulárisan szimmetrikus 2D ablakfüggvény.





## Követelmények

- A mintavételi frekvencia legyen közös az Európai (PAL) és az USA (NTSC) rendszerre
- A mintavételi struktúra legyen ortogonális, tehát egy TV-sorba egész számú mintavételi periódus férjen bele:
- $f_s = n f_h^{EU}$  és  $f_s = k f_h^{USA}$ , ahol  $n$  és  $k$  egész számok,  $f_h$  a sorfrekvencia

$$- f_h^{EU} = 625 \times \frac{50}{2} \text{ Hz} = 15625 \text{ Hz} = 5^6 \text{ Hz}$$

$$- f_h^{USA} = 525 \times \frac{60}{2} \times \frac{1000}{1001} \text{ Hz} = 15734,2\dots \text{ Hz}$$

$f_{H,480i}$	:	$f_{H,576i}$
$525 \times \frac{60}{2} \times \frac{1000}{1001}$	:	$625 \times \frac{50}{2}$
$7 \times 5^2 \times 3 \times \frac{5 \cdot 3 \cdot 2^2}{2} \times \frac{5^3 \cdot 2^3}{13 \cdot 11 \cdot 7}$	:	$5^4 \times \frac{5^2 \times 2}{2}$
$3 \times 3 \times 2^4$	:	$13 \times 11$
$144$	:	$143$

$$- 1001 = 7 \times 11 \times 13$$



- A legkisebb közös többszörös tehát
$$143f_h^{USA} = 144f_h^{EU} = 2,25\text{MHz}$$
- A mintavételi frekvenciának nagyobbak kell lennie, mint a videojel maximális frekvenciájának (6 MHz) kétszerese
- Keressük tehát a 2,25 MHz legkisebb többszörösét, ami nagyobb mint a 12 MHz
- A 12 MHz-nél nagyobb legkisebb többszörös: 13,5 MHz
- Ezt választották a világosságjel mintavételi frekvenciájának, miközben a színkülönbségi jelek számára, figyelemmel az emberi látás tulajdonságaira, felezett mintavételi frekvenciát (6,75MHz) választottak



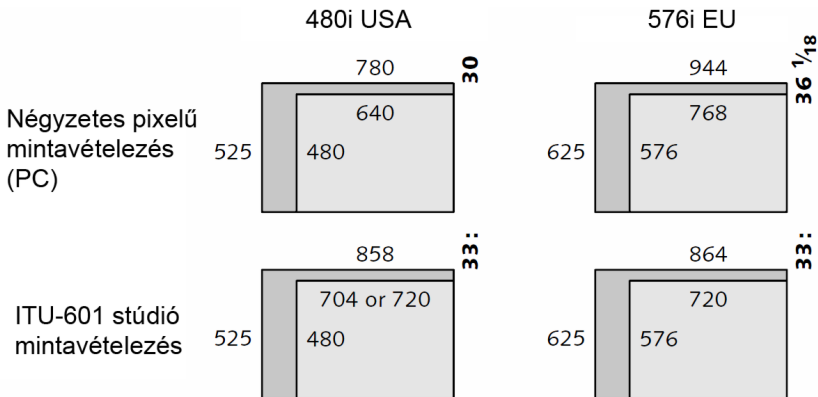
## ITU 601 SD video mintavételi frekvenciája III.

$$\begin{array}{ccc}
 f_{mv}^Y = 13,5\text{MHz} & \xrightarrow{/2} & f_{mv}^{U,V} = 6,75\text{MHz} \\
 \Downarrow & & \Downarrow \\
 f_B^Y = 5,6\text{MHz} & & f_B^{U,V} = 2,8\text{MHz} \\
 \\ 
 n_H^{USA} = \frac{f_{mv}^Y}{f_H^{USA}} = 858 & & n_H^{EU} = \frac{f_{mv}^Y}{f_H^{EU}} = 864
 \end{array}$$

- A TV-sor aktív idejét  $53,3 \mu\text{sec}$ -re választották, mely soronként 720 mintát eredményez
- A ténylegesen aktív időtartamra azonban csak 704 minta jut (8-8 minta fel- és lefutási tranziensek miatt)
- Mivel ez azonos az EU és az USA rendszerre, formátum konverzió esetén nincs szükség vízszintes irányú térbeli konverzióra

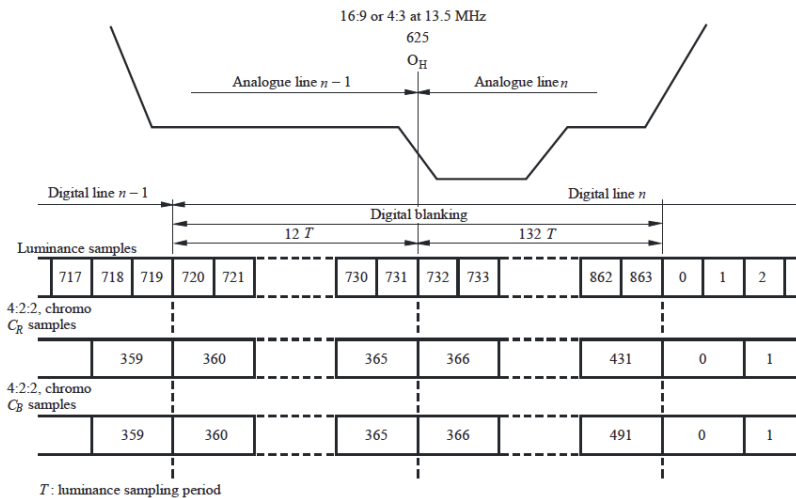


# ITU 601 vs. PC mintavételi raszter



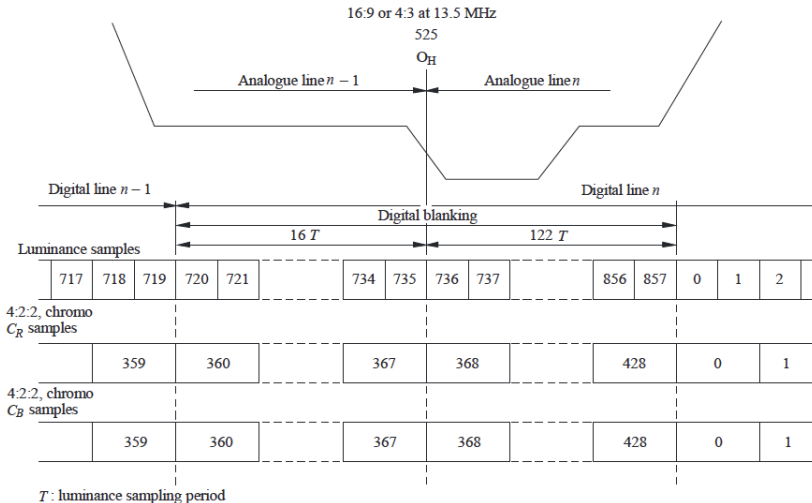


# ITU 601 aktív képtartalom (EU)





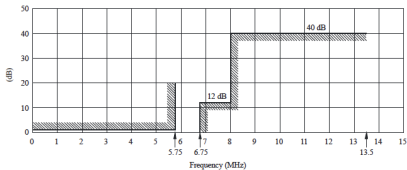
# ITU 601 aktív képtartalom (USA)



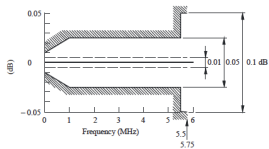


# ITU 601 szűrőkarakterisztikák I.

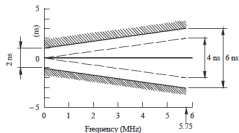
Filter template for a luminance, RGB or 4:4:4 colour-difference signal



a) Template for insertion loss/frequency characteristic



b) Passband ripple tolerance



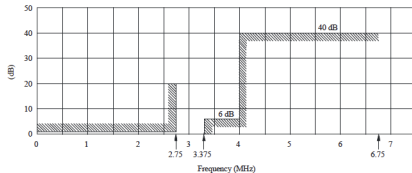
c) Passband group-delay tolerance



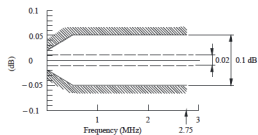


# ITU 601 szűrőkarakterisztikák II.

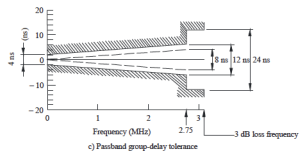
Filter template for a 4:2:2 colour-difference signal



a) Template for insertion loss/frequency characteristic



b) Passband ripple tolerance

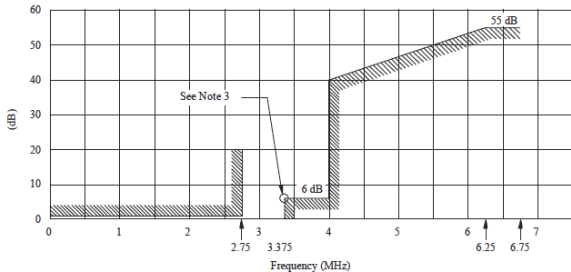


c) Passband group-delay tolerance

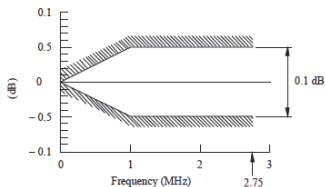


# ITU 601 szűrőkarakterisztikák III.

Digital filter template for sampling-rate conversion  
from 4:4:4 to 4:2:2 colour difference signals

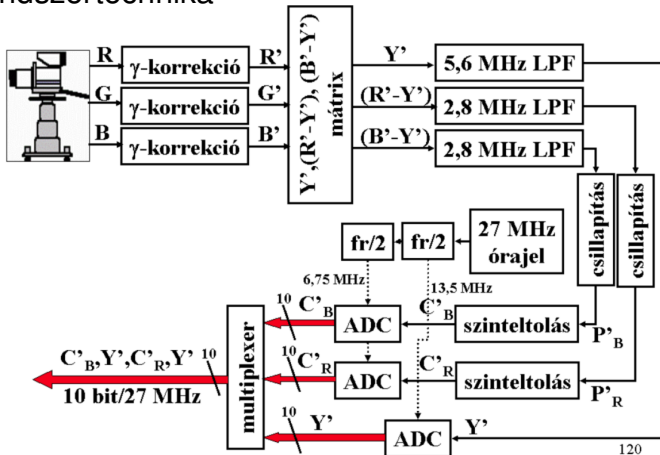


a) Template for insertion loss/frequency characteristic



b) Passband ripple tolerance

## Elvi rendszertechnika





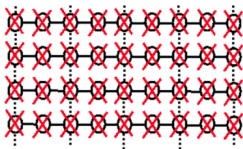
## Elvei

Az analóg komponens színkülönbségi jel sávszélesség csökkentése digitális videotartalom esetében a színkülönbségi jelek térbeli alul-mintavételezésével (decimálás) valósul meg.

## A mintastruktúra jelzése

- Pl. 4:2:0 vagy 4:2:2
  - Az első szám a világosságjel (Y') mintáinak referencia-számát adja meg (4)
  - A második szám, a színkülönbségi jelek vízszintes irányú mintavételezését adja meg, a referenciához képest ( $4:2 = 2:1$  alul-mintavételezés vízszintes irányban)
  - A harmadik szám vagy 0, vagy megegyezik az előzővel. Ha nulla, akkor függőleges irányban 2:1-es alul-mintavételezés van (minden második sorból történik mintavételezés). Ha megegyezik a második számjeggyel, akkor függőleges irányban nincs alul-mintavételezés

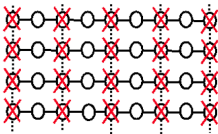
**X** :  $C'_R$  és  $C'_B$  színminták  
**O** : világosság minták



- A mintastruktúra minden tv-sorban azonos
- Alapegység: egy pixel
- 8, 10 bit/minta/komponens
- 8 bites esetben: 3 bájt = 24 bit
- 10 bites esetben:  $3 \times 10$  bit = 30 bit



### 4:2:2 progresszív



× :  $C'_R$  és  $C'_B$  színminták

○ : világosság minták

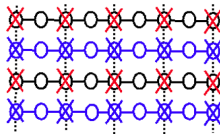
8, 10 bit/minta/komponens

8 bites:  $2+1+1$  bájt = 4 bájt = 32 bit / 2 pixel

10 bites:  $(2+1+1) \cdot 10$  bit = 40 bit / 2 pixel

Ha a bemenő kép formátuma 4:4:4, akkor a 4:2:2-re történő átalakítás kompressziós tényezője 3:2

### 4:2:2 váltott-soros



× : színminták 1. félkép

○ : világosság minták 1. félkép

× : színminták 2. félkép

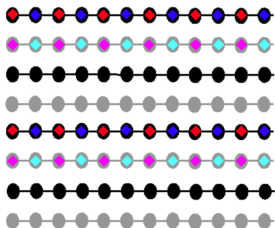
○ : világosság minták 2. félkép



- Minden sor azonos szerkezetű
  - Alapegység egy sorban 4 pixel
  - A színjelek vízszintesen 4-vel alul-mintavételezettek
  - A maradó színminták egybe esnek egy-egy Y' mintával
  - C'<sub>R</sub>, C'<sub>B</sub> soron belüli offszet
  - 8bit:  $4+1+1=6$  bájt=48bit/4 pixel
  - 10bit:  $(4+1+1) \times 10=60$  bit/4 pixel
  - Ha a bemenő formátum 4:2:2, akkor a kompresszió: 4:3
- 
- ◆ : C'<sub>R</sub> minták 1. félkép  
 ◆ : C'<sub>B</sub> minták 1. félkép  
 ● : Y' minták 1. félkép  
 ◆ : C'<sub>R</sub> minták 2. félkép  
 ◆ : C'<sub>B</sub> minták 2. félkép  
 ● : Y' minták 2. félkép



## 4:2:0 DV-EU (váltott soros)



◆ :  $C_R$  minták 1. félkép

◆ :  $C_B$  minták 1. félkép

● : világosság minták 1. félkép

◆ :  $C_R$  minták 2. félkép

◆ :  $C_B$  minták 2. félkép

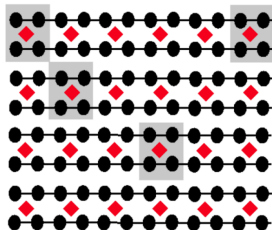
● : világosság minták 2. félkép





## 4:2:0 MPEG-1 (progresszív) és JPEG

- Az alapegység:  $2 \times 2$  pixel
- A színkülönbségi jeleket vízszintesen és függőlegesen is 2-vel alul-mintavételezzük
- A színminták függőlegesen 2 sor, vízszintesen 2 szomszédos minta közé kerülnek
- 8bit:  $(4+1+1)$  bájt=48bit/4pixel
- 10bit:  $(4+1+1) \cdot 10 = 60$ bit/4pixel
- Ha a bemenő formátum 4:2:2, akkor a kompresszió: 4:3



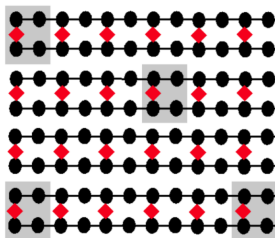
◆ :  $C'_R, C'_B$  színminták

● : világosság minták

■ : alap egység



## 4:2:0 MPEG-2



◆ :  $C'_R, C'_B$  színminták

● : világosság minták

■ : alapegység

- Az alapegység:  $2 \times 2$  pixel
- Színjeleket függőlegesen 2-vel alul-mintavételezzük
- A színmintákat úgy számítjuk ki, hogy azok két egymás alatti sor közepére kerüljenek
- A keletkező színminták vízszintesen egybe esnek minden 2. Y mintával
- $8\text{bit}:(4+1+1)\text{bájt}= 48\text{bit}/4\text{pixel}$
- $10\text{bit}:(4+1+1)\times 10=60\text{bit}/4\text{pixel}$
- Ha a bemeneti formátum 4:2:2, akkor a kompresszió: 4:3

129



- Mivel a decimálás (a felesleges minták eldobása) előtti megfelelő anti-aliasing szűrés, majd a dekóder oldali hiányzó minták helyreállítása interpolációval komoly számításigényű, ezért konzumer berendezésekben általában egyszerűsítéseket alkalmaznak
- Pl. 4:4:4 / 4:2:0 JPEG konverzió esetén a 2x2-es Cr/Cb mintablokk átlagát számítják. Dekódolásnál ezt az átlagértéket ismétlik a hiányzó pozíciókban



- Szűrőkernel:

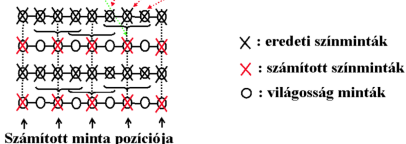


## Mintastruktúra konverzió (alul-mintavételezés) II.

- A 4:4:4/ 4:2:2 konverzió ITU-601-nek megfelelő módja a legegyszerűbben a következő vízszintes irányú szűréssel valósítható meg (triangle filter)  $h_x = [1/4 \quad 1/2 \quad 1/4]$

$$C^*_{(m,k)} = \frac{1}{4} \cdot C_{(m,k-1)} + \frac{1}{2} \cdot C_{(m,k)} + \frac{1}{4} \cdot C_{(m,k+1)}$$

A megoldásra nincs hatása a váltott soros képfelbontásnak



- Az MPEG-2-nek megfelelő 4:2:0 mintastruktúra pedig legegyszerűbben egy további függőleges irányú átlagolással ( $h_y = [1/2 \quad 1/2]$ ) valósítható meg (comb filter)

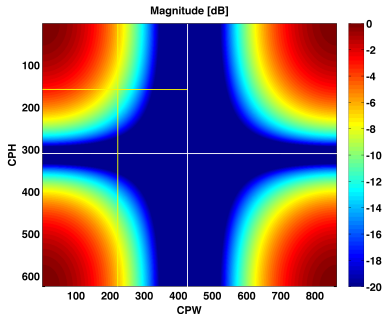


- Az ismertett egyszerű szűrési majd decimálási módszerek elsősorban állóképekre, illetve lassan változó képtartalomra, konzumer célokra használhatók
- A nem tökéletes térbeli szűrés miatt megmaradó és átlapolódó térbeli frekvenciakomponensek a mozgóképen látható jelenségeket okozhatnak, mivel ezek mozgása/változása nem mindig egyezik meg a hozzá tartozó képtartalom mozgásával
- Stúdió alkalmazások esetén számos szomszédos mintát figyelembe nagyobb 2D konvolúciós mátrixokkal történő szűrést használnak



## Egyszerű konvolúciós mátrix 2D átviteli karakterisztikája

$$h = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}$$





## Perceptuális vonatkozások (ismétlés)

- Kb. két dekádnyi fénysűrűség tartományban a HVS kontrasztérzékenysége 1%
- Ebben a tartományban két felület nem különböztethető meg, ha a róluk visszaverődő fény fénysűrűségeinek aránya kisebb mint 1.01
- Az előzőek alapján a világosságérzékelés a fénysűrűség függvényében logaritmikus jellemzőket mutat
- Az alkalmazott közelítések (pl. CIE  $L^*$ ) megfelelő hatványkitevőjű hatványfüggvényeket használnak

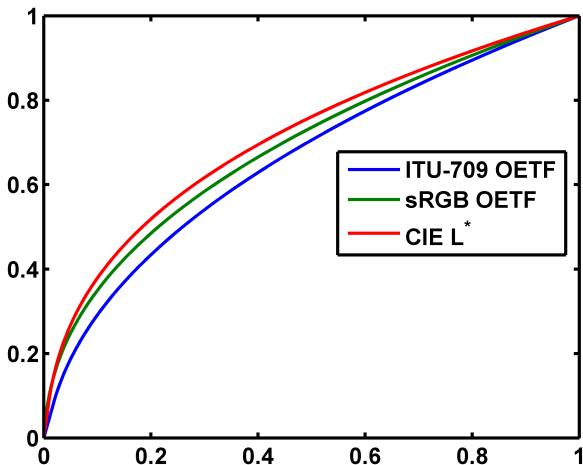


A CIE világosság definíciója ( $L^*$ )

$$L^* = \begin{cases} \left(\frac{29}{3}\right)^3 Y/Y_n, & Y/Y_n \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, & Y/Y_n > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases}$$

A teljes nem-lineáris karakterisztikát tekintve, ez leginkább egy  $Y^{0.4}$ -es hatványfüggvénynek felel meg.







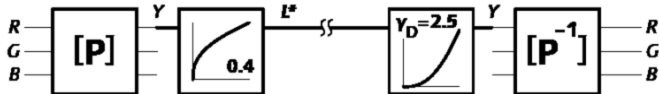
## Mintánkénti bitszám és kvantálási karakterisztika

### 8 bites **lineáris** kvantálás: 0 a fekete, 255 a fehér szint

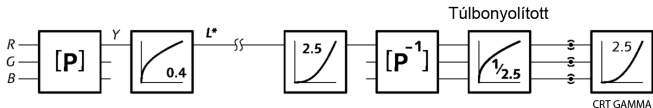
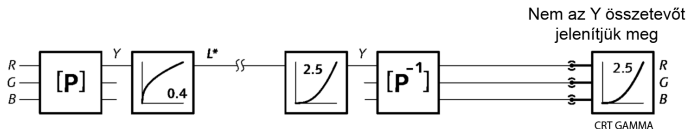
- A 100-as kódhoz tartozó fénysűrűség mellett a 101-es kódhoz tartozó fénysűrűség még éppen megkülönböztethető lenne (1% eltérés)
- A 100-as kódnál kisebb értékek esetén (a feketeszinthez közel) egy lineáris kódérték eltérés jelentős világosságérzet eltérést okozna (pl:  $21/20 = 105\%$ ), ami egy folytonos szürkeskálán pl. sávosság eredményez a feketeszintek közelében
- A 100-as kódnál nagyobb értékek esetén (a fehérszinthez közel) egy kódérték eltérés megkülönböztethetetlen lenne, vagyis a kvantálási lépcsők kihasználtsága rossz lenne ebben a tartományban (pl.  $201/200 = 0.01\%$ )
- Célszerű lenne tehát a fénysűrűség/világosságérzet nem-lineáris karakterisztikát (pl. CIE L) figyelembe vevő kvantálási karakterisztikát használni

## Perceptuális kvantálás

- Elvi lehetőség a perceptuális kvantálásra



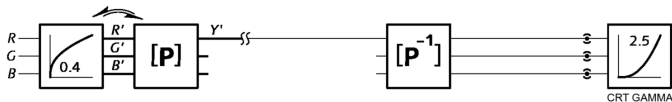
- A CRT képcsövek gamma-karakterisztikájának kompenzálása ekkor problémát jelentene





## Perceptuális kvantálás

- Szerencsés egybeesés, hogy a HVS fényűrűség-szubjektív világosság karakterisztikája jól közelíthető 0.4-es hatványfüggvénnyel, ami pont a gamma-karakterisztika (2.5-ös hatványfüggvény) inverze ( $1/2.5=0.4$ )
- A módosított rendszertechnika tehát (amiről eddig is szó volt a gamma-korrekciónak esetében)





## Perceptuális kvantálás

- A gamma-előkorrekció jelentősége ma már elsősorban nem a CRT képcsövek karakterisztikájának kompenzálása, hanem az érzékeléshez illeszkedő kvantálás használata a digitális képi ábrázolás (mind állókép, mind mozgóképek esetében) céljára
- Nem CRT megjelenítők esetében (LCD-TFT, stb) a vezérlőfeszültség-fénysűrűség összefüggés nem is egyezik meg a CRT gammával, így a gamma-előkorrekciót egy mesterségesen előállított 2.5-es hatványfüggvénnyel (pl. LUT - Look Up Table) 'semlegesíteni' kell



## Perceptuális kvantálás

- A világosság érzékeléshez jobban illeszkedő kvantálás hatékonysága jobb.
- Láttuk, hogy míg a 8 bites komponensenkénti lineáris kvantálás nem elegendő
- Ha a kérdéses kontraszt tartomány 100:1 és biztosítani kell az 1%-os felbontást,  $100 \times 100 = 10000$  kódszóra lenne szükség (ez 14 bites lineáris kvantálás )
- Ha a kódszavak elhelyezkedése megfelel az 1,01 relatív lépköznek, akkor csak 463-ra lenne szükség, ami csak 9 bitet igényel ( $1,01^x = 100$ , ebből  $x = 463$ )
- A 0.4-es hatványfüggvénnyel való közelítés miatt +1 bit kell
- Kezdetben a stúdiók 8 bites nem-lineáris kvantálást alkalmaztak
- Ma általános a 10 bites nem-lineáris kvantálás



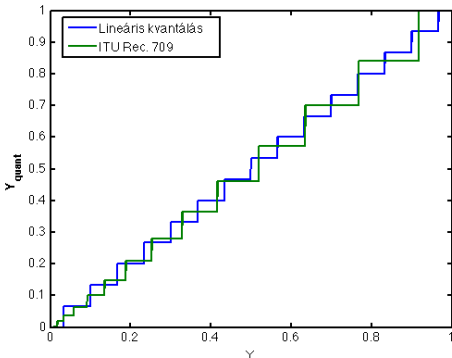
ITU-709-es nem lineáris transzfer karakterisztika

$$V' = \begin{cases} 4.500V & V < 0.018 \\ 1.099V^{0.45} - 0.099 & V \geq 0.018 \end{cases}$$

ahol  $V$  az R,G,B komponenseket jelöli



ITU-709-es kvantálás példa (szemléltetés céljából "extrém" 4 bites esetre)

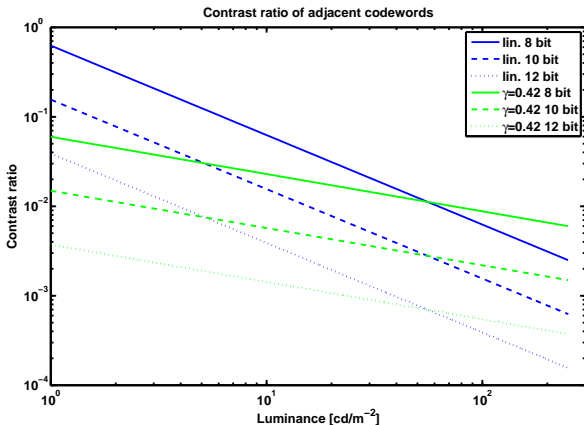






## Szomszédos kódszavak kontrasztaránya

Lineáris, és  $1/2.4=0.42$  kitevőjű kvantálási karakterisztika mellett





# Szürkeskála 6 bites lineáris, és nem-lineáris kvantálási karakterisztika

---

Linearly quantised ramp



Non-linearly quantised ramp





# Szürkeskála 8 bites lineáris, és nem-lineáris kvantálási karakterisztika

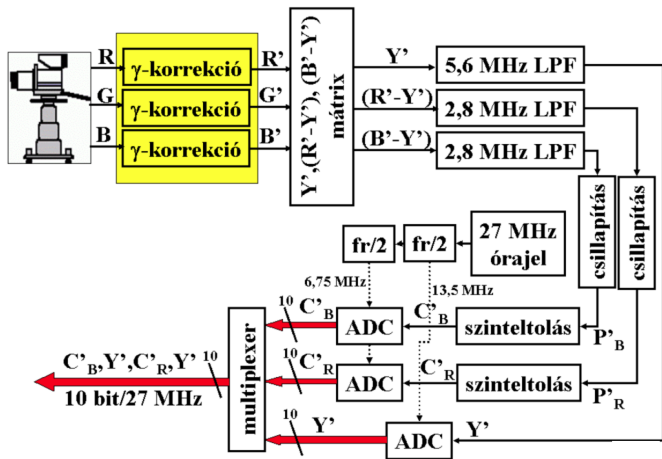
---

Linearly quantised ramp



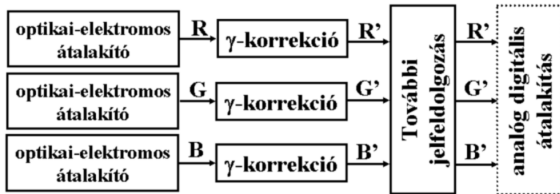
Non-linearly quantised ramp





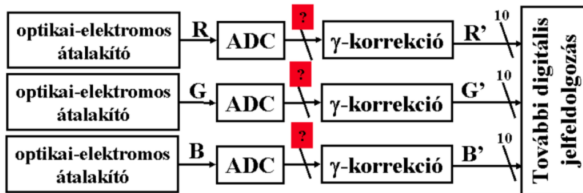


## Analóg gamma (ma már nem alkalmazzák)



## Digitális gamma

?=13 vagy 14 bit lineáris A/D

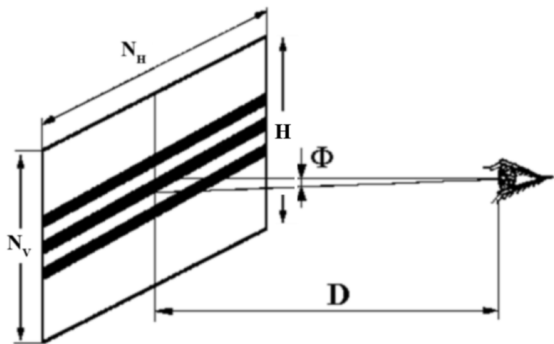


## A HDTV céljai és a HDTV paraméterek megalkotásának alapelvei I.

- A HDTV elsődleges célja az otthoni TV nézés élményének fokozása az által, hogy az SDTV-nél nagyobb látószöveget tölt ki képtartalommal: ezáltal a TV kép "valóságszerűsége" nő
- Az elsődleges cél tehát nem a pixelben kifejezett "felbontás" növelése, nem az azonos képméretbe még több pixel "belesűritése"

## A HDTV céljai és a HDTV paraméterek megalkotásának alapelvei II.

- A kiindulópont az átlagos néző HVS-nek térbeli felbontóképessége, mely korlátozott:
- A televíziós kijelző sor (pixel) struktúrája ne legyen észrevehető, és zavaró,
- Ehhez a szomszédos pixelekből, illetve az egymás alatti sorokból a szemünkbe érkező fénysugarak bezárt szöge ne legyen nagyobb, mint a látás szögfelbontás határa (1 szögperc)
- A szögfelbontás 1 szögpercnél kisebbre csökkentéséhez a sortávolságból számítható minimális nézőtávolságra kell legalább ülni
- Ez a kiindulópontja minden (SDTV, HDTV, UHDTV lásd később) televíziós szabvány, illetve képfelbontás tervezésének



Jelöljük a kép magasságát pixelben:  $N_V$ -vel, a kép szélességet pixelben  $N_H$ -val, a szomszédos pixelekből a szemünkbe érkező fénysugarak által bezárt szöget  $\Phi$ -vel. A nézőtávolságot jelöljük  $D$ -vel, míg a képmagasságot  $H$ -val.

Célunk, hogy  $\tan\left(\frac{1}{60}\right) = \frac{H/N_V}{D}$



Ha  $\tan\left(\frac{1}{60}\right) = \frac{H/N_V}{D}$ , akkor pl.

- az EU SD 576-soros rendszerre:

$$D_{576} = \frac{1}{N_V \tan\left(\frac{1}{60}\right)} H = \frac{1}{576 \times 2.9 \times 10^{-4}} H \approx 6H$$

- A 720 soros HD rendszerre:

$$D_{720} = \frac{1}{N_V \tan\left(\frac{1}{60}\right)} H = \frac{1}{720 \times 2.9 \times 10^{-4}} H \approx 5H$$

- Az 1080 soros HD rendszerre:

$$D_{1080} = \frac{1}{N_V \tan\left(\frac{1}{60}\right)} H = \frac{1}{1080 \times 2.9 \times 10^{-4}} H \approx 3H$$

A képhez tartozó vízszintes látószög ( $\Theta$ )

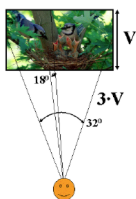
$$\tan\left(\frac{\Theta}{2}\right) = \frac{A/B/2}{D}, \text{ és ebből}$$

$$\Theta = 2 \arctan\left(\frac{A}{2BD}\right), \text{ ahol } \frac{A}{B} \text{ a képarány (SD: 4:3, HD: 16:9)}$$

	Amerikai	Európai	HDTV
<b>Tv-sor / képmagasság</b>	<b>480</b>	<b>576</b>	<b>1080</b>
<b>Nézőtávolság</b>	<b>7-szeres képmagasság</b>	<b>6-szoros képmagasság</b>	<b>3-szoros képmagasság</b>
<b>Nézőtávolság</b>	<b>4,25-szeres képátló</b>	<b>3,6-szeres képátló</b>	<b>1,5-szeres képátló</b>
<b>Vízszintes látószög</b>	<b>kb. 11 fok</b>	<b>kb. 13 fok</b>	<b>kb. 32 fok</b>
<b>Függőleges látószög</b>	<b>kb. 8 fok</b>	<b>kb. 9,5 fok</b>	<b>kb. 18 fok</b>

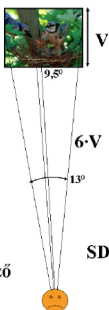


# HDTV / SDTV összehasonlítás I.

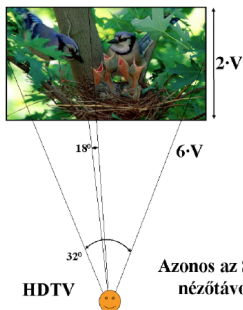


HDTV

Azonos az SD/HD kijelző  
képmagassága

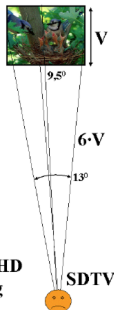


SDTV



HDTV

Azonos az SD/HD  
nézőtávolság

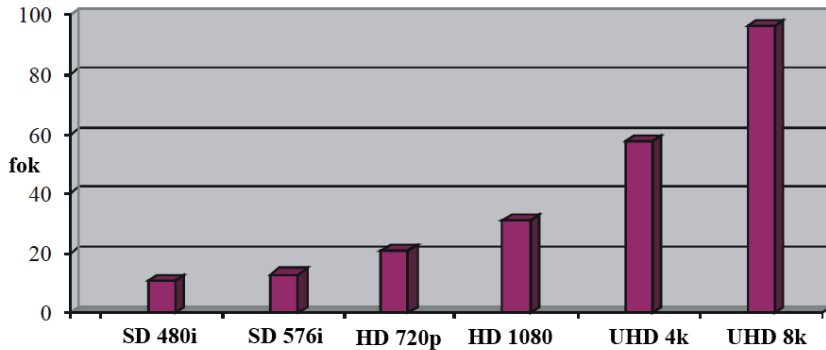


SDTV

A HD tehát nem önmagában a nagyobb felbontást (kb. 6x teljes pixelszám az SD-hez képest) jelenti, hanem azt, hogy azonos szögfelbontást alapul véve a látóterünk nagyobb hányadát (periférikus látást is !) kitölti képtartalommal



## Ideális nézőtávolság esetén a vízszintes látószög





Legyen a nézőtávolság fix: 3m (tipikus nézőtávolság, nappaliban, pl TV előtt)

A képmagasság:  $H = DN_V \tan \frac{1}{60}$

A képszélesség:  $W = H \times \frac{A}{B}$ ,

ahol  $\frac{A}{B}$  a képarány (SD: 4:3, HD: 16:9)

- az EU SD 576-soros rendszerre: H=50cm, W=67cm
- A 720 soros HD rendszerre: H= 62cm, W= 110cm
- Az 1080 soros HD rendszerre: H=94 cm, W=168cm



### A HD formátumtól elvárt követelmények

- A képméretarány (Aspect Ratio: AR) minimum 16:9
- A váltott-soros, vagy progresszív kijelzés nem definiált
- Független világosságjel és színinformáció kezelés
- Növelt fényerejű és felületű kijelző
- Minimálisan CD minőségű és sokcsatornás hangátvitel

- 80-as években a világ megosztott a HD képformátumot illetően: az USA egyetlen analóg formátumot javasol, a japánok által kifejlesztett **1035i/30**-at (SMPTE 240M, digitális formátuma: **1125 sor, 1035 aktív sor, 1920×1035 nem-négyzetes pixel**, hosszas viták után elfogadják, majd visszavonják )
- 50/60 Hz vita: A világ népességének 75%-át kitevő 50 Hz-es országokkal szemben a 60 Hz választása tisztességtelen lenne
- Progresszív/interlace vita: fix sávszélesség/adatsebesség és képfrekvencia mellett az interlace átvitel nagyobb térbeli felbontást tesz lehetővé, de a tömörítési eljárások kevésbé hatékonyak



- 90-es évek közepén megállapodás a közös HD formátumban:  
**1080 aktív tv-sor/kép, váltott-soros, vagy progresszív**, és különböző képfrekvenciájú formátumcsalád
- Az SMPTE **ezenkívül** definiálja a **720P** formátum családot is
- Hatékonyabb kompresszió biztosítható
- Ennek megfelelően az ABC, a Fox, és a ESPN – akik számára a sport tartalom kritikus – a 720/P/59,94 formátumot, míg a CBS és az NBC, valamint a műholdas operátorok a 1080/I/29,97 formátumot választják



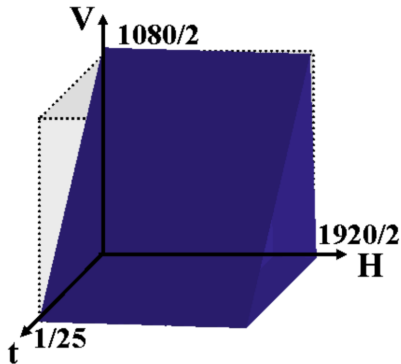
- Minden HD műsorszórás jelenleg az AC-3-at, vagy az MPEG-2 AAC-t (Japán) használja a hang átvitelében
- Kezdetben a HD műsorszórók az MPEG-2-t, ma többségük az H264/AVC videó kódolást alkalmazza
- Az EBU 2003-as MPEG-2 tesztorozata szerint **22 Mbit/s kell a 1080/I/25, és 18 Mbit/s a 720/P/50** videó továbbításához, hogy a kompresszió káros hatását ne vegyük észre
- Az EBU 2004 áprilisában Európa számára az SMPTE két progresszív formátumát (720/P/50, 1080/P/50) ajánlja HD célra
- A 2 formátum közül jelenleg a 720P/50 a jobb kompromisszum a képminőség, a berendezés implementáció és a szükséges adatsebesség között
- UHDTV célokra a jövő kódolási mód a HEVC

- A HD képfarmátum a kétszeresére növelt vízszintes és függőleges felbontás, valamint a 4:3-as képméretarány 16:9-re növelése miatt a 601-es mintavételi frekvencia minimum  $2 \cdot 2 \cdot 4/3 = 16/3 = 5,333$ -szorosát igényli
- A HD mintavételi frekvenciájának az SD mintavételi frekvencia 5,5-szeresét választották
- Ezzel a HD formátumok világosságjelének mintavételi frekvenciája: **74,25 MHz** ( $5,5 \cdot 6 \cdot 2,25 = 33 \cdot 2,25$  MHz) lett
- Ez kb. 60 Mpixel/sec kapacitást jelent, ami
  - 2 Mpixel/kép (1920x1080) és 30 Hz-es képfrekvencia mellett váltott-soros
  - 1 Mpixel/kép (1280x720) és 60 Hz képfrekvencia mellett progresszív

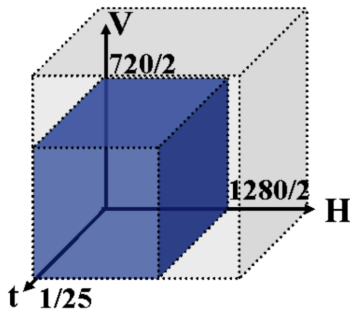
# 1080i és 720p (azonos képfrekvencia) összehasonlítása

Hasznos elvi térbeli és időbeli frekvenciatartomány a Nyquist-tétel alapján

**SMPTE 274M  
(1080I)**

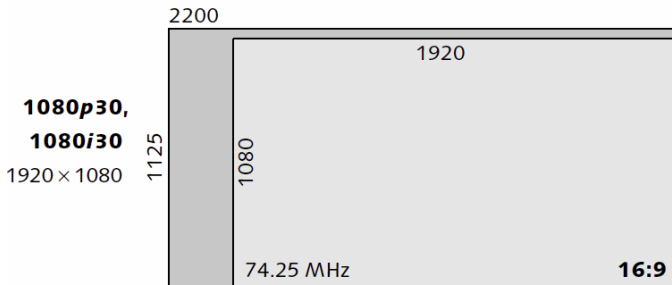
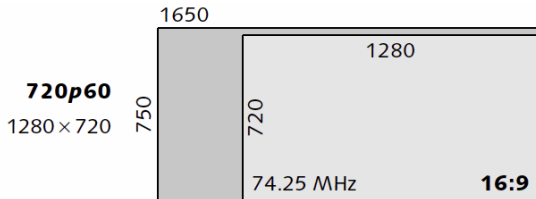


**SMPTE 296M  
(720P)**



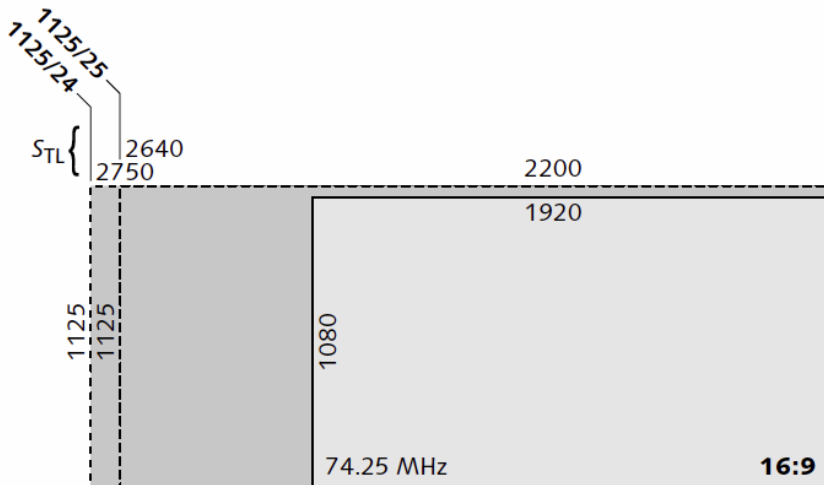


## HDTV formátumok 1. példa (720 soros)





## HDTV formátumok 2. példa (1080 soros)



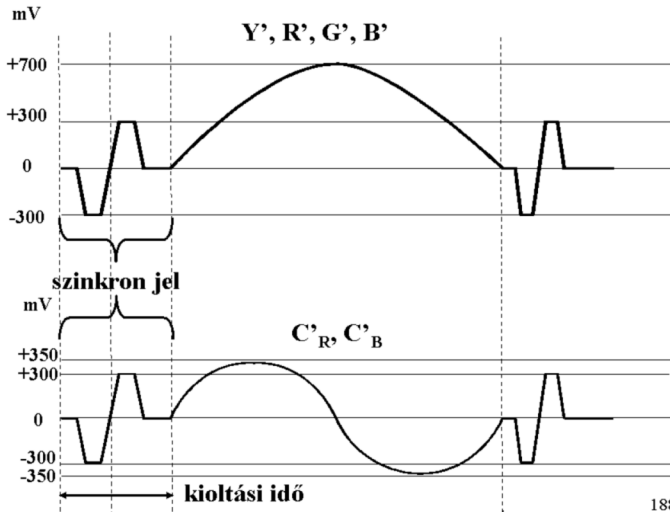
A HDTV RGB formátumát az ITU 709-es ajánlása határozza meg

- Luma együtthatók:  $Y_{709} = 0.212R + 0.715G + 0.072B$
- Nemlineáris (gamma-korrekciós) transzfer karakterisztika:

$$V' = \begin{cases} 4.500V & V < 0.018 \\ 1.099V^{0.45} - 0.099 & V \geq 0.018 \end{cases}$$



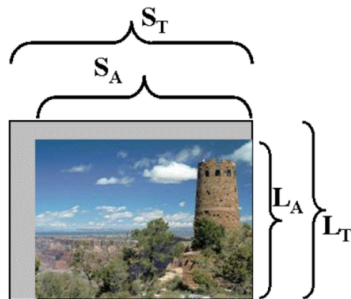
## Analóg jel tartományok





## HDTV adatsebesség számítása

- **Összes tv-sorok száma/kép:**  $L_T$
- **Aktív tv-sorok száma/kép :**  $L_A$
- **Összes minták száma/tv-sor:**  $S_T$
- **Aktív minták száma/tv-sor:**  $S_A$
- **n:** bitszám/minta/komponens



- **Adatsebesség/komponens:**  $S_A \cdot L_A \cdot f_{\text{kép}} \cdot n$
- **Ha a mintavételi formátum 4:4:4, akkor 3-szor a fenti**
- **Ha a mintavételi formátum 4:2:2, akkor 2-szer a fenti**
- **SMPTE 274:**  $S_A \cdot L_A = 1920 \cdot 1080 = 2073,6$  Kminta/kép
- **SMPTE 296:**  $S_A \cdot L_A = 1280 \cdot 720 = 921,6$  Kminta/kép





## SMPTE 274M formátumok és adatsebességek I.

Közös:  $L_T = 1125$ ,  $L_A = 1080$ ,  $S_A = 1920$ ,  $f_s = 74.25\text{MHz}$

	Jelölés mintaszám · sorszám / képfrekvencia / progresszív/interlace	Videó adatsebesség 4:2:2 (Gbit/s)	Videó adatsebesség 4:4:4 (Gbit/s)	Mintavételi frekvencia (MHz)	Mintaszám/ tv-sor
1	1920 · 1080/60/P	2,49	3,70	148,5	2200
2	1920 · 1080/59,94/P	2,49	3,70	148,5/1,001	2200
3	1920 · 1080/50/P	2,07	3,08	148,5	2640
4	1920 · 1080/60/I	1,25	1,85	74,25	2200
5	1920 · 1080/59,94/I	1,25	1,85	74,25/1,001	2200
6	1920 · 1080/50/I	1,04	1,54	74,25	2640
7	1920 · 1080/30/P	1,25	1,85	74,25	2200
8	1920 · 1080/29,97/P	1,25	1,85	74,25/1,001	2200
9	1920 · 1080/25/P	1,04	1,54	74,25	2640
10	1920 · 1080/24/P	1,00	1,48	74,25	2750
11	1920 · 1080/23,98/P	1,00	1,48	74,25/1,001	2750

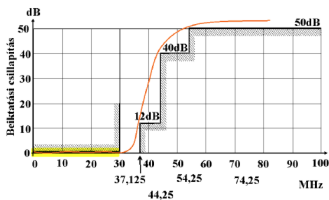
## SMPTE 274M formátumok és adatsebességek II.

Közös:  $L_T = 1125$ ,  $L_A = 1080$ ,  $S_A = 1920$ ,  $f_s = 74.25\text{MHz}$

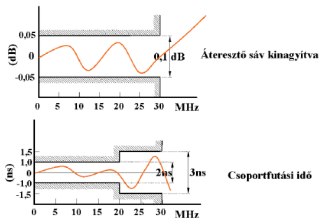
		1-3 rendszerek		4-11 rendszerek	
	<b>Komponens</b>	<b>4:2:2</b>	<b>4:4:4</b>	<b>4:2:2</b>	<b>4:4:4</b>
<b>Sávszélesség</b>	<b>R,G,B,Y</b>	<b>60MHz</b>	<b>60MHz</b>	<b>30MHz</b>	<b>30MHz</b>
	<b>C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub></b>	<b>30MHz</b>	<b>60MHz</b>	<b>15MHz</b>	<b>30MHz</b>
<b>Mintavételi frekvencia</b>	<b>R,G,B,Y</b>	<b>148,5MHz</b>	<b>148,5MHz</b>	<b>74,25MHz</b>	<b>74,25MHz</b>
	<b>C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub></b>	<b>74,25MHz</b>	<b>148,5MHz</b>	<b>37,125MHz</b>	<b>74,25MHz</b>
<b>Tv-soron belüli mintaszám</b>	<b>R,G,B,Y</b>	<b>1920</b>	<b>1920</b>	<b>1920</b>	<b>1920</b>
	<b>C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub></b>	<b>960</b>	<b>1920</b>	<b>960</b>	<b>1920</b>
<b>Interfész sebesség</b>	<b>Mszimb/s</b>	<b>4 · 74,25</b>	<b>6 · 74,25</b>	<b>2 · 74,25</b>	<b>3 · 74,25</b>
		<b>2 HD-SDI</b>	<b>3 HD-SDI</b>	<b>1 HD-SDI</b>	<b>2 HD-SDI</b>

- **SDI** : Serial Digital Interface (270 Mbit/s)
- **HD-SDI** : High Definition Serial Digital Interface (1,485 Gbit/s)

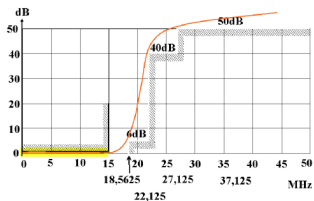
R',G',B',Y' szűrő sablon a 1080/60/I rendszerben



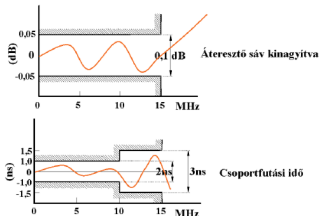
R',G',B',Y' szűrő sablon a 1080/60/I rendszerben



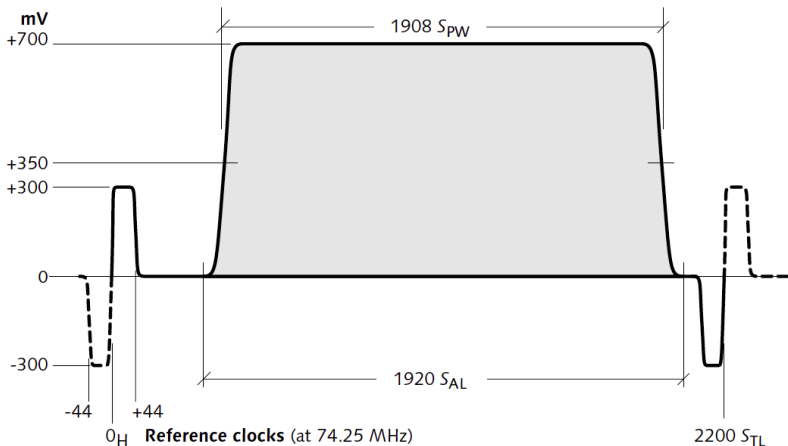
C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub> szűrő sablon a 1080/60/I rendszerben



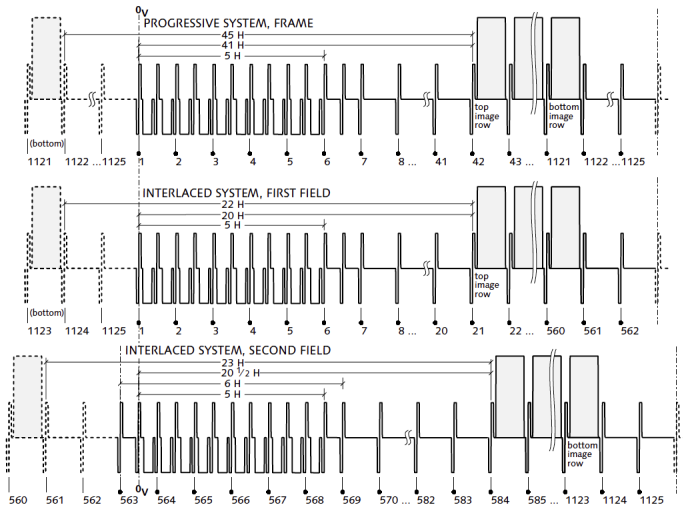
C<sub>R</sub>,C<sub>B</sub> szűrő sablon a 1080/60/I rendszerben



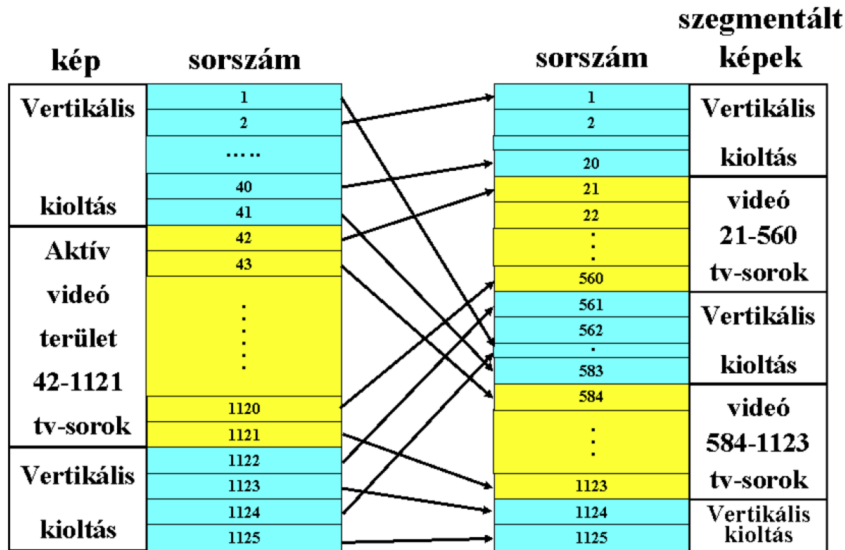
1080/30p, illetve 1080/60i példa



## Progresszív és interlace eset



## Progresszív és interlace eset



## Megegyezik az ITU 601-el

$$R'_{digi} = 219 \cdot D \cdot R' + 16 \cdot D$$

$$G'_{digi} = 219 \cdot D \cdot G' + 16 \cdot D$$

$$B'_{digi} = 219 \cdot D \cdot B' + 16 \cdot D$$

$$Y'_{digi} = 219 \cdot D \cdot Y' + 16 \cdot D \quad D = 2^{n-8}$$

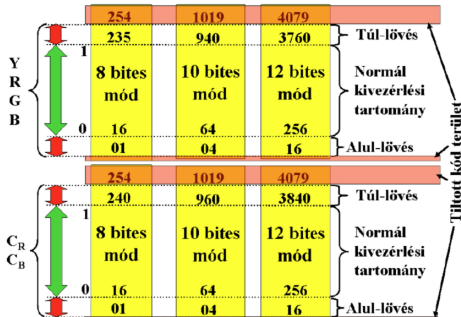
$$C'_{Rdigi} = 224 \cdot D \cdot C'_R + 128 \cdot D$$

$$C'_{Bdigi} = 224 \cdot D \cdot C'_B + 128 \cdot D$$

$R', G', B', Y'$  dinamika tartománya: 0 - 1

$C'_R$  és  $C'_B$  dinamika tartománya itt: -0,5 - +0,5

n pedig a mintánkénti bitszám: 8, 10, 12 bit





## SMPTE 296 formátumok (720p) I.

Közös:  $L_T = 750$ ,  $L_A = 720$ ,  $S_A = 1280$ ,  $f_s = 74.25\text{MHz}$

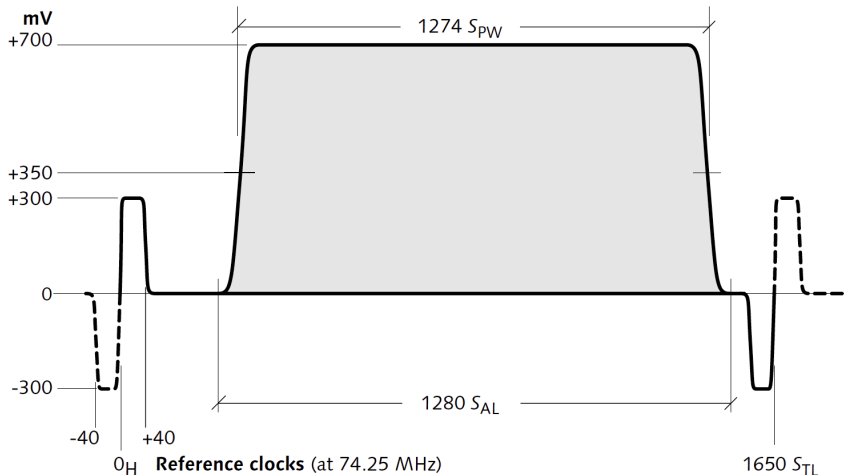
	Jelölés mintaszám · sorszám / képfrekvencia / progresszív	Videó adatsebesség 4:2:2 (Gbit/s)	Videó adatsebesség 4:4:4 (Gbit/s)	Kép frekvencia (Hz)	Alap mintavételi frekvencia (MHz)	Mintaszám/ tv-sor
1	1280 · 720/60/P	1,11	1,66	60	74,25	1650
2	1280 · 720/59,94/P	1,11	1,66	60/1,001	74,25/1,001	1650
3	1280 · 720/50/P	0,96	1,38	50	74,25	1980
4	1280 · 720/30/P	0,56	0,83	30	74,25	3300
5	1280 · 720/29,97/P	0,56	0,83	30/1,001	74,25/1,001	3300
6	1280 · 720/25/P	0,48	0,69	25	74,25	3960
7	1280 · 720/24/P	0,46	0,66	24	74,25	4125
8	1280 · 720/23,98/P	0,46	0,66	24/1,001	74,25/1,001	4125





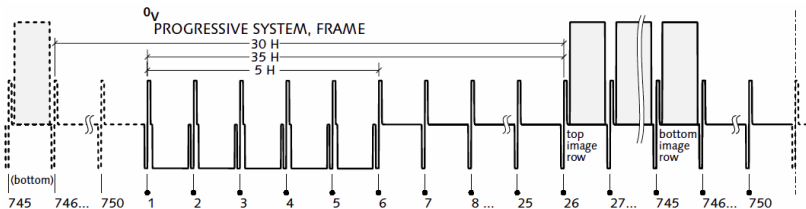
# SMPTE 296 formátum (720p) egy sora

720/60p példa



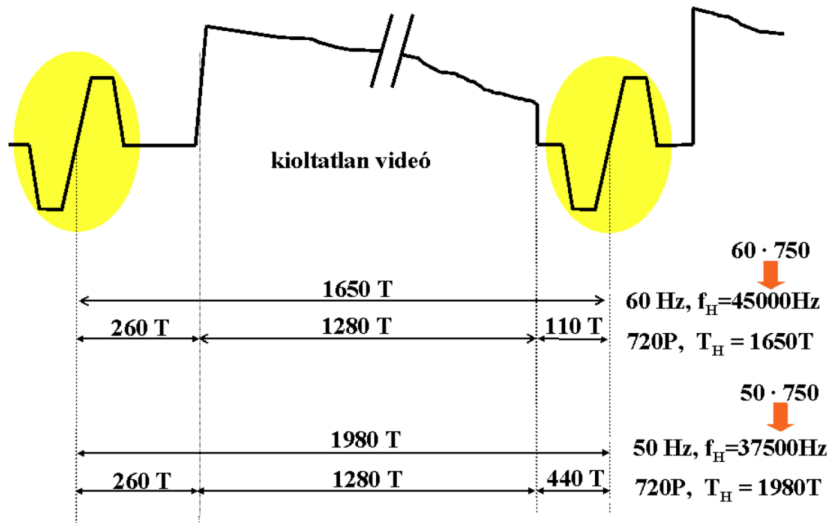


# SMPTE 296 formátum (720p) képfelépítés





# SMPTE 296 képsor összehasonlítás



## Előzetes megfontolások

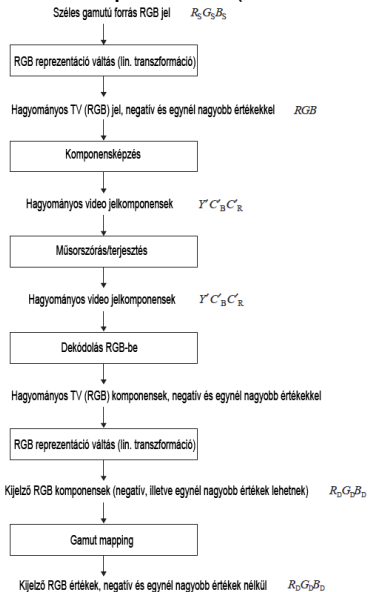
- Természetes az igény a szélesebb látószöget lefedő képtartalom, a részletgazdag kép, a javított mozgásleképzés (magasabb képsebesség) mellett a kiterjesztett színtartományra is
- A TV által megjeleníthető színtartomány a használt alapszínek (RGB) által lefedett háromszögre szorítkozódik
- Szélesebb színtartomány lefedhető, ha negatív RGB értékeket is engedélyezünk, ez azonban csak átviteltechnikai megoldás, a negatív intenzitás fizikailag nem valósítható meg.
- A jelenlegi kamerák szenzorai az ITU 601/709-es RGB tartománynál nagyon színterületet is képesek érzékelni. A műsoranyag elkészítésénél a gamuton kívüli színek "kezelést" igényelnek. Ez egyszerűbb esetben "clipping", ami színtorzulást eredményez, vagy magasabb színhűség igénye esetén kifinomultabb gamut-mapping eljárásokat.



### Változatlan RGB alapszínek (és luma együttthatók)

- Negatív RGB értékek engedélyezése: Az YCbCr jelek kiterjesztett értéktartománnyal, vagy új skálatényezőkkal átvihetők, és viszonylag kis rendszertechnikai változtatással feldolgozhatók a jelenlegi rendszerekkel (visszafelé kompatibilitás megoldható). Az eredmény szélesebb gamut, de nem fedi le teljesen a látható színek tartományát (illetve a Pointer-féle felületi színek tartományát sem teljes mértékben)
- Referencia ajánlások: ITU-1361, ITU-2250
- Megvalósítás: xvYCC (Sony)

## Változatlan RGB alapszínek (és luma együttthatók)





### Új (kiterjesztett) RGB alapszínek (és új luma együtthetők)

- Az új RGB alapszínek nagyobb területű háromszöget fednek le a színdiagramon.
- Még így sem a teljes látható színtartományt fedik le: a cél az ún. valós felületi színek (Pointer-féle színek) tartományának lefedése. Visszafelé kompatibilitás konverziót igényel. Új RGB alapszíneket használó kijelzőket igényel. Implementáció: Adobe RGB, UHDTV, DCI-P3
- Megvalósítás: Adobe RGB, ITU-2020 (UHDTV), DCI-P3, ACES



### Kolorimetrikus színtér

- Kolorimetrikus színtér (pl. CIE XYZ) a kódoláshoz és az átvitelhez: nem realizálható RGB alapszíneket alkalmaz. A megjelenítő RGB komponensei által kifizített színtérbe való konverziót/mapping-et igényel a megjelenítésnél. Teljes látható tartományt lefedi.
- Hátrány: Nagy bitmélységet igényel (jellemzően 16 bit/komponens !), rossz kódkihasználtság.
- Megvalósítás: DCI, filmarchiválás, -disztribúció

### Több, mint 3 alapszín használata

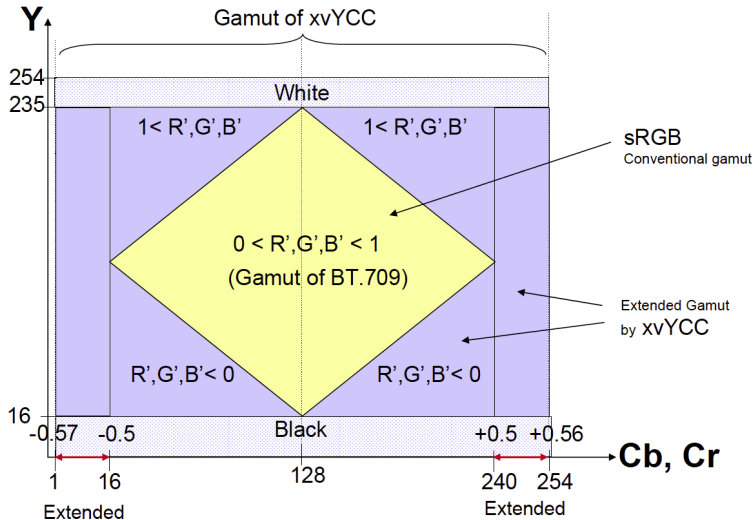
- No comment ....



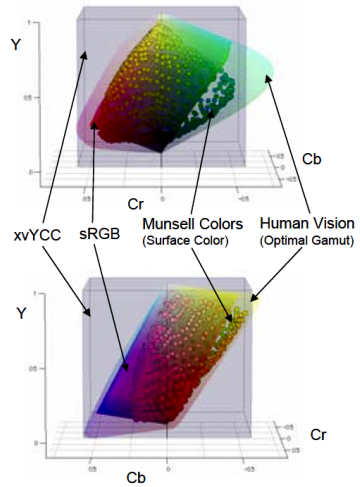
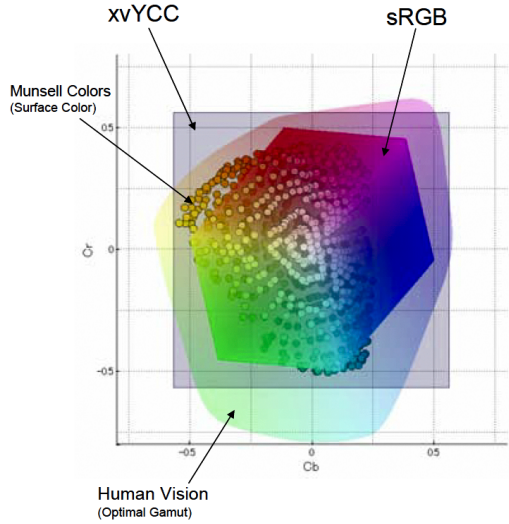


- Negatív RGB értékek engedélyezése
- Az optoelektromos átviteli függvény a 0-1 közötti értékekre megegyezik az ITU Rec. 709 nem lineáris átviteli karakterisztikával. Ugyanúgy az RGB alapszínek és a luma együtthatók is változatlanok
- A 0-nál kisebb (negatív), és az 1 nél nagyobb értékekre egy 0-ra szimmetrikus, kiterjesztett nem-lineáris átviteli függvényt definiáltak
- Az átvitel és feldolgozás során használt RGB-YCbCr transzformációk változatlanok
- Az YCbCr jelek kiterjesztett értéktartománya 8 bites kvantálás esetén: a 1-15 és a 241-254 tartomány is hasznos kódtartomány.
- Az RGB jelek kiterjesztett kódtartománya 8 bites esetben 0-255, ami a  $V_{int} = 219 V_{0-1} + 16$  egyenletből -0.0731 és + 1.0913 közötti RGB értékeknek felel meg.

# Színkülönbségi jel tartományok



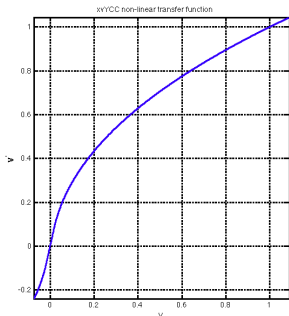
# Gamut



## Nem-lineáris transzfer karakterisztika

$$V' = \begin{cases} 1.099 V^{0.45} - 0.099 & V \geq 0.018 \\ 4.500 V & -0.018 < V < 0.018 \\ -1.099(-V)^{0.45} + 0.099 & V \leq -0.018 \end{cases}$$

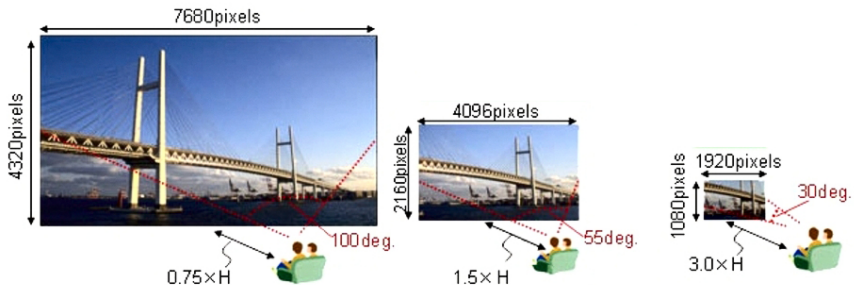
ahol  $V$  az R,G,B komponenseket jelöli





- MPEG-2
- MPEG-4 H.264/AVC
- H.265/HEVC
- HDMI 1.3 specifikáció
- Egyes blu-ray lejátszók, és lemezek (mastered in 4k)
- A produkciós és a lejátszási lánc minden elemének támogatnia kell
- Probléma: a 8 bit/komponens kevés

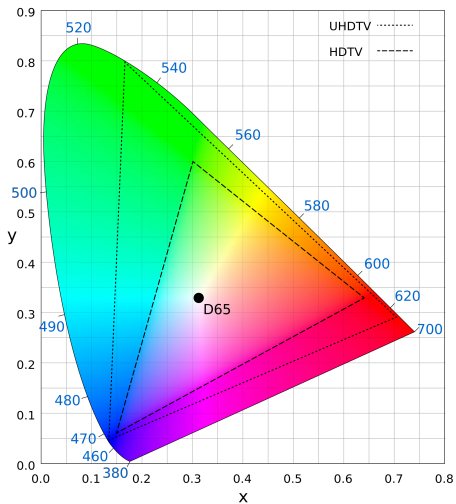
- A HDTV-hez képest tovább "fokozott" realitás-élmény:
  - még nagyobb képi látószög biztosítása.
  - javított mozgásleképzés (magasabb képsebesség támogatása)
  - kiterjesztett színtér
- A korábbiak alapján: térbeli felbontásigény 1 szögperc - változatlan
- Formátumok:
  - UHD-1 (4K): 3840 x 2160 - Látószög: 58 fok, ideális képméret 3m nézőtávolságból: 1.88 m x 3.35 m
  - UHD-2 (8k): 7680 x 4320 - Látószög: 96 fok, ideális képméret 3m nézőtávolságból: 3.76 m x 6.70 m (!!!)



## ITU Rec. 2020

- Új RGB alapszínek: monokromatikus RGB alapszínek
  - R (CIE  $x=0.708, y=0.292$ ), 630 nm
  - G (CIE  $x=0.170, y=0.797$ ), 532 nm
  - B (CIE  $x=0.131, y=0.046$ ), 467 nm
- Új luma együtthatók:  $Y' = 0.2627 R' + 0.6780 G' + 0.0593 B'$
- Nem-lineáris transzfer karakterisztika megegyezik a Rec. 709-el
- Konstans-fénysűrűségű átviteli mód (lásd később)
- YCbCr transzformáció és digitális reprezentáció megegyezik a Rec. 709-el
- 10 bit/minta, és 12 bit/minta formátumok
- 4:2:0, 4:2:2, és 4:4:4 (RGB) formátumok
- 60 Hz és 120 Hz (!) progresszív formátumok támogatása







- Londoni Olimpia (2012) alatt BBC kísérleti adások 8k-ban, közösségi vetítések céljára London szerte
- Korea (2013): DVB-T2 és HEVC alapú földi 4k műsorszórási kísérletek
- Eutelsat (2013) DVB-S2 4k kísérleti adás (50 Hz, progresszív, 4 HD csatorna sáv szélességben, H.264/AVC tömörítéssel)
- Japán (2014): DVB-S2 4k kísérleti adás tervezése a FIFA alatt



- 2003: NHK kutatók megépítik az első UHDTV rendszer prototípust. 16 db HDTV rögzítő és egy 4 db 3840x2048 felbontású CCD-t tartalmazó kamera szolgáltatja a 8k jelet 18 perc rögzítési idővel.
- 2006: NHK kísérleti élő "közvetítés" 260 km-es üvegszáloptikás hálózati átvitelrel, 24 Gbps átviteli sebességgel. Ugyanezen évben Tokyo-Osaka közötti kísérleti adás, nyilvános vetítéssel. Kísérleti tömörítést alkalmazva a video bitseb. 180-600 Mbps.
- 2008 : London és Amsterdam közötti kísérleti adás.
- 2011: A Sharp bemutatja az első 8K felbontású LCD kijelzőt.
- 2012: NHK bemutatja az első 8k felbontású 120 fps CMOS sensort.
- 2012: Dél-Korea kísérleti, digitális földfelszíni UHDTV adásokat kezdeményez
- 2012: NHK bemutatják az első 8k (33 megapixel) / 120 fps / 12 bit/komponens COMS szenzort. A szenzor kimeneti sávszélessége 51 Gbps
- 2012: Kísérleti BBC adás a Londoni olimpia alatt, 15 méteres köztéri képernyőkre
- 2012: Elfogadják az ITU-2020 UHDTV szabványt
- 2012: LG elkezd árulni az első kereskedelmi forgalomban kapható 4K UHDTV kijelzőt az USA-ban
- 2012: Sony bejelenti az első 4K UHDTV hard-diskes lejátszót

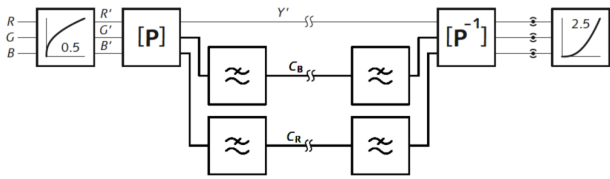


## UHDTV történelem

- 2013: Az EUTELSAT létrehozza az első dedikált 4K UHD csatornát. A csatorna H.264/AVC kódolást használ 50 fps 40 Mbps mellett
- 2013: A Broadcom megjelenteti az első UHD/HEVC dekódoló chipet (BCM7445)
- 2013: A Blue-ray szabványba emelik a 4K UHD felbontást
- 2013: A BBC elkezdte gyártani az első 4K UHD természetfilmet (Survival)
- 2014: Japánban megkezdik a FIFA közvetítését műholdon keresztül 4K UHD formátumban
- 2014: Mitsubishi létrehozza az első 8K HEVC kódoló chipet. 10bit/komponens, 8K felbontás 60 fps Bemenete 17 db 3G-SDI multiplex, kimeneti sebessége 340 Mbps
- 2014: Az Xbox One támogatja a 4k felbontást
- 2014: A Sony árulni kezdi a 4k UHD médialejátszóját
- 2014: a HDMI 2.0 szabvány tartalmazza a 4K felbontást 60 fps-ig
- 2014: A YouTube 4K opció választható
- 2014: Eutelsat bejelenti az első Európai 4K UHD demo adást, 50 fps, DVB-S2/HEVC módban
- 2014: A Canon EOS C500 kamerák támogatják az ITU-2020 színteret
- 2014: Linkin Park koncert berlinből közvetítve az Astra műholdján 4K UHD HEVC kódolással
- 2015: Az indiai Tata Sky megkezdte egy fizetős UHD csomag sugárzását
- 2015: Az angol BT sport csatorna megkezdte az első európai UHD csatorna működtetését



# Nem-konstans fénysűrűség problémája

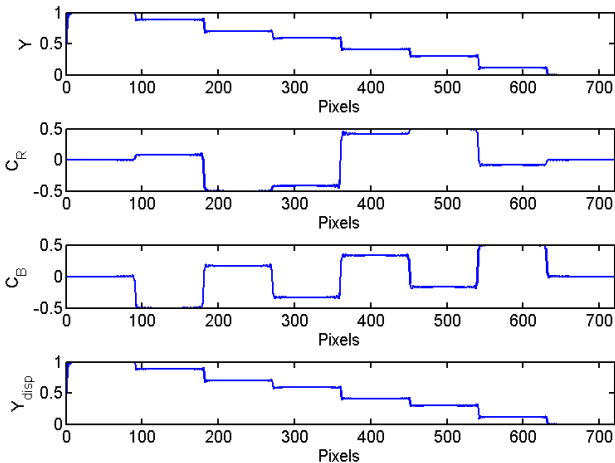


$R'$	$Y' = 0,3 \cdot R' + 0,59 \cdot G' + 0,11 \cdot B'$ $(R' - Y') = 0,7R' - 0,59G' - 0,11B'$ $(B' - Y') = -0,3R' - 0,59G' + 0,89B'$ <b>Mátrix (kódoló oldal)</b>	$Y'$
$G'$		$(R' - Y')$
$B'$		$(B' - Y')$

$Y'$	$R' = (R' - Y') + Y'$ $B' = (B' - Y') + Y'$ $G' = -\frac{0,3}{0,59}(R' - Y') - \frac{0,11}{0,59}(B' - Y') + Y'$ <b>Mátrix (vevő oldal)</b>	$R'$
$(R' - Y')$		$G'$
$(B' - Y')$		$B'$

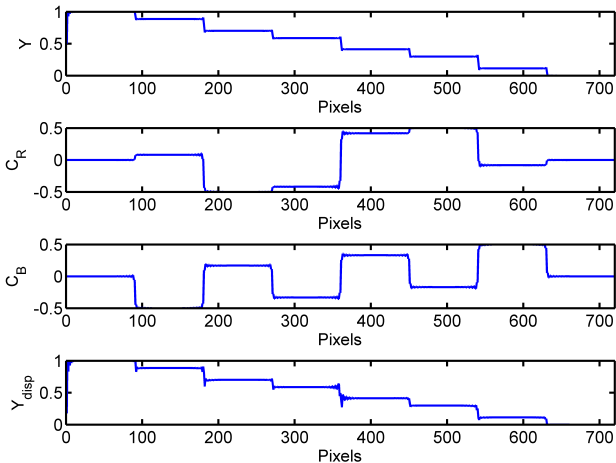
ahol  $C_R = (R' - Y')/1.402$ , és  $C_B = (B' - Y')/1.772$

## Színsávábba, lineáris átvitel (nincs gamma)





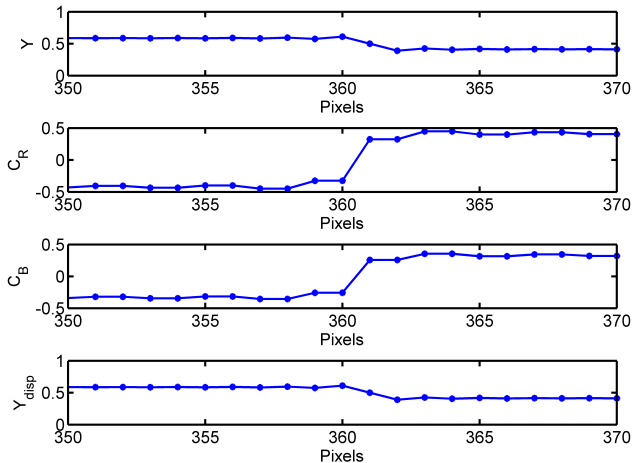
## Színsávára, Gamma-korrekció, és kijelző-gamma





# Nem-konstans fénysűrűség problémája

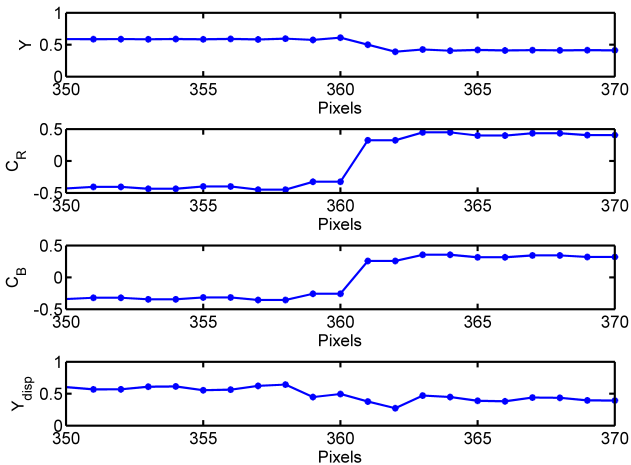
Színsávára, lineáris átvitel (nincs gamma) - közelebbről





# Nem-konstans fénysűrűség problémája

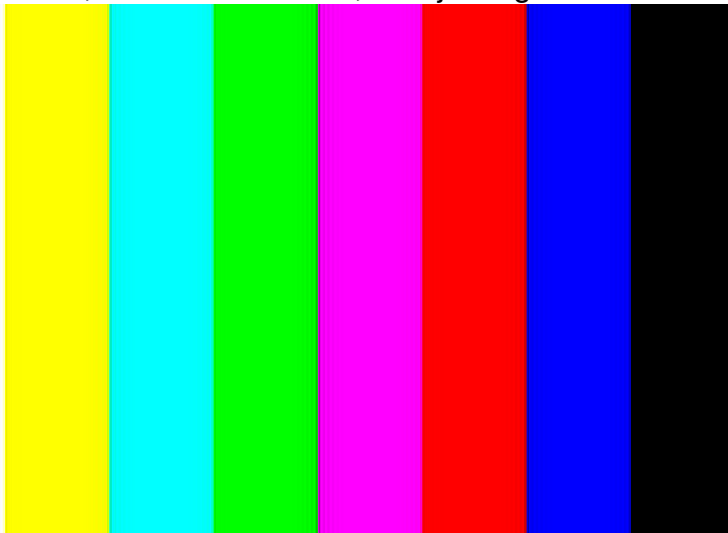
Színsávára, Gamma-korrekció, és kijelző-gamma -  
közelebről





## Nem-konstans fénysűrűség problémája

Színsávábra, Gamma-korrekció, és kijelző-gamma





## Rendszertechnika

