

Digitális műsorszórás

Előadó: Dr. Kovács Imre

Egyetemi adjunktus

Híradástechnikai Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Tel: 06 1 4632080

Email: kovacsi@hit.bme.hu

Tanfolyam tematika

- Videójel, videó formátumok, digitalizálás
- Videó és audió kompresszió
- TS adatfolyam felépítése
- Digitális modulációk
- DVB-T hálózat/vevő
- DVB mérés technika
- DVB-H, DRM
- Mérés technikai gyakorlat

Videó formátumok

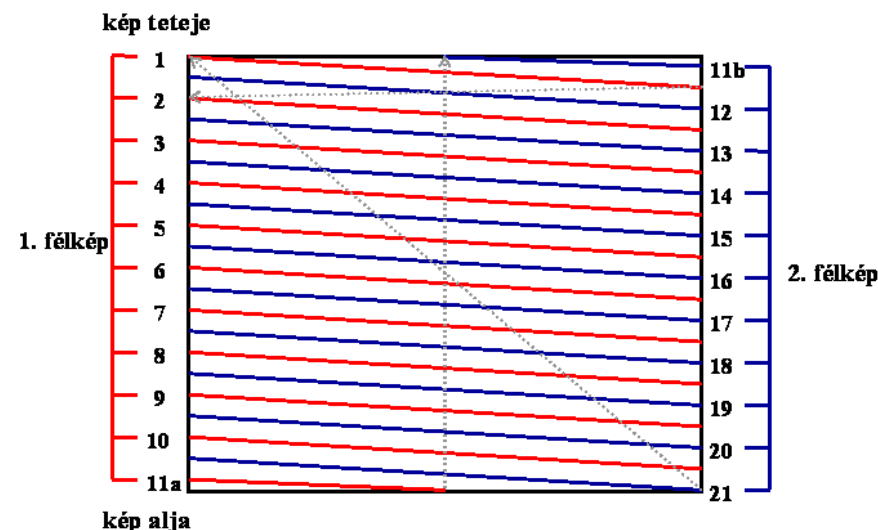
- HVS felbontó képessége
- Videójel komponensei
- Videójel digitalizálása
- Mintánkénti bitszám
- Videó mintavételi formátumok
- HD formátumok, HD minőség
- Interfészek (SDI, HD-SDI)

- Mozgó kép átvitel során a képet elegendően kicsiny részekre, az ún. képelemekre (pixelekre) bontjuk, majd az ezeknek megfelelő információt továbbítjuk
- A néző távolságot, a képméretarányt és a szem felbontó képességét figyelembe véve a szükséges képelemek száma kb. 500 ezer, ami kb. 600 sor és egy sorban 800 képelem (SD)
- Vegyük figyelembe, hogy a villogásmentes képhez a kép ismétlődési frekvenciának meg kell haladnia a fúziós frekvenciát (50Hz), így SD-re akkora alapsávi sáv szélesség (kb. 12 MHz) adódott volna, ami megvalósíthatatlan lett volna
- Az 50 Hz képfrekvencia csak a villogásmentes kép megvalósítása miatt szükség, a folyamatos mozgás benyomásának keltéséhez elegendő ennél jóval kisebb érték is

- A mozik gyakorlatát alapul véve a képismétlődés frekvenciája 20...25 kép/s esetén már kielégítő
- Csakhogy amíg a filmvetítésnél meg lehet csinálni, hogy ugyanazt a filmkockát kétszer/háromszor is kivetítik a vászonra, mielőtt a filmet tovább húznák, addig ez a tv kijelzőn nagykapacitású tároló nélkül nem kivitelezhető
- Ennek elkerülése végett más utat kerestek a probléma megoldására, és kellően értékelnünk kell azt a szellemes megoldást, amely végül is lehetővé tette, hogy csökkenthető legyen a másodpercenként továbbított képek száma anélkül, hogy villogás lépne fel
- Ez a váltott-soros (interlace) képbontás

Váltott-soros képbontás

- Az elgondolás lényege 21 soros képre



- Az egyes fogalmak magyar és angol nyelvű megfelelőit a következő táblázat tartalmazza

Angol	Magyar	Magyarázat
Interlace	Váltott soros	Egy függőleges lefutás alatt a kép minden második sorának letapogatása
Progressive	Folyamatos letapogatás	Egy függőleges lefutás alatt a kép minden sorának letapogatása
Field	Félkép	Egy teljes kép minden második sora által alkotott kép
Frame	Kép	Váltott soros letapogatás esetén a két félkép együttese, míg progresszív letapogatás esetében a teljes kép
Line	Tv-sor	Félkép, vagy kép egyetlen sora

- Az SD műsorszórás páratlan számú sorra bontja a képet
- Európában 625 ?, tengerentúlon 525 ? a kép sorainak száma
- A váltott-soros felbontásnak vannak hátrányai
- Pl. a függőleges felbontást akár a felére is lecsökkenhet, nagy sorirányú képrészletezettség, vagy mozgóképek esetében
- Vagy pl. ha a képen a sortávolsággal azonos vastagságú vízszintes vonalak találhatók, akkor a képen megjelenik az un. flicker (sorvillogás)
- Oka, hogy a váltott soros letapogatás a struktúra felépítésétől függően egyik félképben „érzékel”, a másikban nem „érzékel” a vízszintes vonalakat
- Ez azonban a kijelzésekor 25 Hz-es villogást eredményez

A HVS felbontó képessége

- A televíziót nem nézzük nagyon közelről
- Ezért teljesen logikus, hogy televíziós kép részletfinomságát csak olyan határig növeljük, amíg szemünk a szokásos néző távolságból ezeket a finom részleteket meg tudja különböztetni
- Azt a legkisebb látószöget, amelynél a szem még éppen meg tud különböztetni két egymás mellett lévő pontot, a **szem felbontóképességének** nevezzük
- A televíziós rendszer felbontóképességén függőleges irányban, a kép teljes magasságában még éppen megkülönböztethető, egymás után következő fekete-fehér sorok számát értjük
- A kép reprodukciója szempontjából a minél finomabb részletek visszaadása, tehát a sorszám növelése lehetne a cél

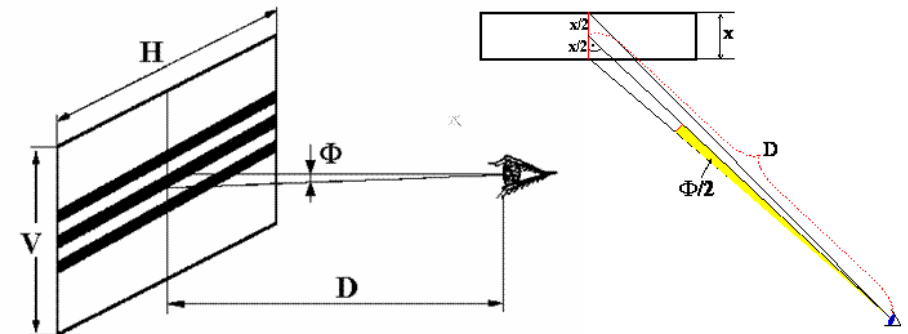
- De a rendszer felbontóképességét célszerű összehangolni látásunk felbontóképességével
- Ami azt jelenti, hogy nem érdemes több sort alkalmazni, mint amennyit a szemünk a szokásos nézési körülmények között még éppen meg tud különböztetni egymástól
- Mert a minőséget nem javítja, viszont az eszközök és az átviteli csatornák kapacitás igényét, így árát is növeli
- A televíziós képen a szemünk által megkülönböztethető fekete-fehér sorok száma függ a képernyő méretétől, valamint attól, hogy milyen távolságból nézzük a képernyőt
- Az SD televíziós készülékek szokásos átlagos néző távolsága a képernyő magasságának mintegy hatszorosa (?)

Nézőtávolság és a szögfelbontás

- Ez emberi látás korlátozott felbontóképességgel rendelkezik (szerencsére!?)
- A televíziós kijelző sor struktúrája észrevehető, és zavaró, ha az egymás alatti sorokból a szemünkbe érkező fénysugarak bezárt szöge nagyobb, mint a látás szögfelbontás határa (1 ívperc)
- E szögfelbontás 1 ívpercnél kisebbre csökkentéséhez a sortávolságból számítható minimális nézőtávolságra kell legalább ülni
- Ez a kiinduló pontja a televíziós képfelbontás tervezésének

Nézőtávolság és a szögfelbontás

- Legyen a képen egymás alatt azonos vastagságú (x) fehér és fekete vonalak sorozata, a nézőtávolság D , míg a látószög Φ



- Ekkor igaz a következő: $\operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} = \frac{x/2}{D} \Rightarrow D \approx \frac{x}{\Phi_{\text{radian}}}$
- Ha $\Phi = 1$ ívperc, akkor helyettesítés után: $D \approx 3400 \cdot x$

Nézőtávolság és a szögfelbontás

- E távolságból a szükséges fokenkénti pixelek száma 60
- A nézőtávolságot a képmagasság többszörösével fejezzük ki:

$$D \approx 3400 \cdot x = 3400 \frac{V}{\text{sorszám}}$$

- Az amerikai rendszerben a kép aktív sorainak száma 480
- Ezzel az 1 ívperchez tartozó nézőtávolság:

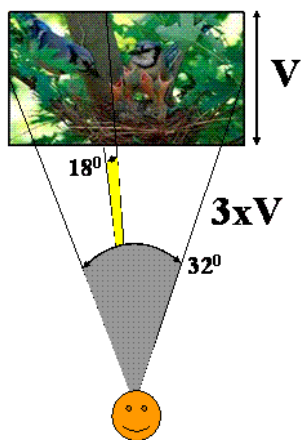
$$D = 7,1 \cdot V$$

- Az európai rendszerben a kép aktív sorainak száma 576
- Ezzel az 1 ívperchez tartozó nézőtávolság:

$$D = 6 \cdot V$$

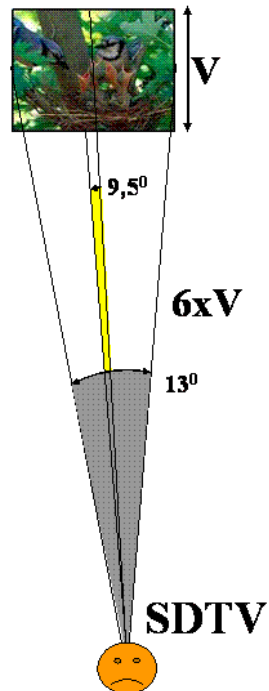
SD/HD nézőtávolság és látószög tartomány

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

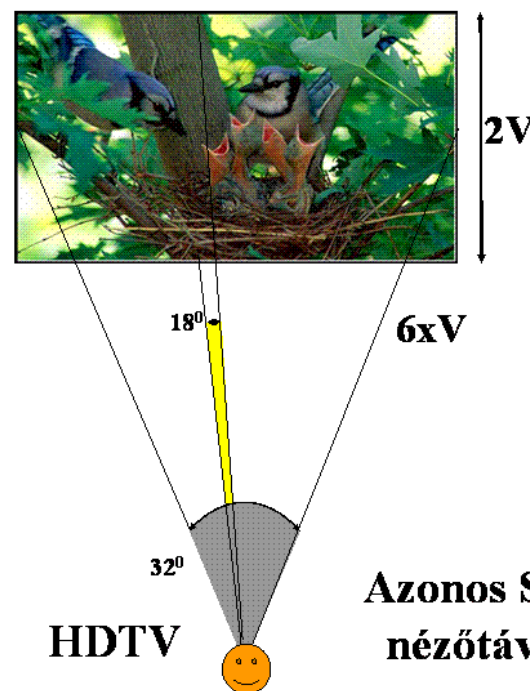


HDTV

SD/HD kijelző
képmagassága azonos

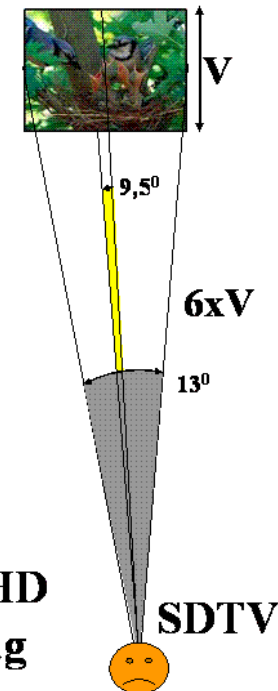


SDTV



HDTV

Azonos SD/HD
nézőtávolság



SDTV

SD (Standard Definition) alap-paraméterek

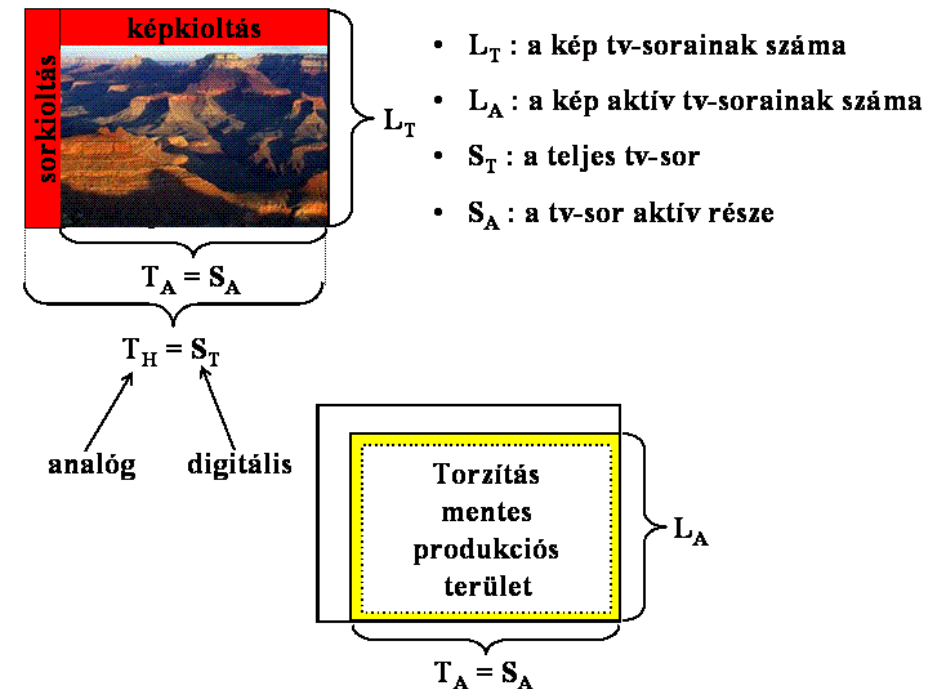
	Európai	Amerikai-Japán
Sorszám/kép	625 (576)	525 (480)
Képfrekvencia (Hz)	25	30 (29,97)
Félkép frekvencia (Hz)	50	60 (59,94)
Félkép idő (ms)	20	16,66 (16,68)
Sorfrekvencia (Hz)	15625	15750 (15734,2...)
Soridő (μs)	64 (H)	63,4 (63,556)

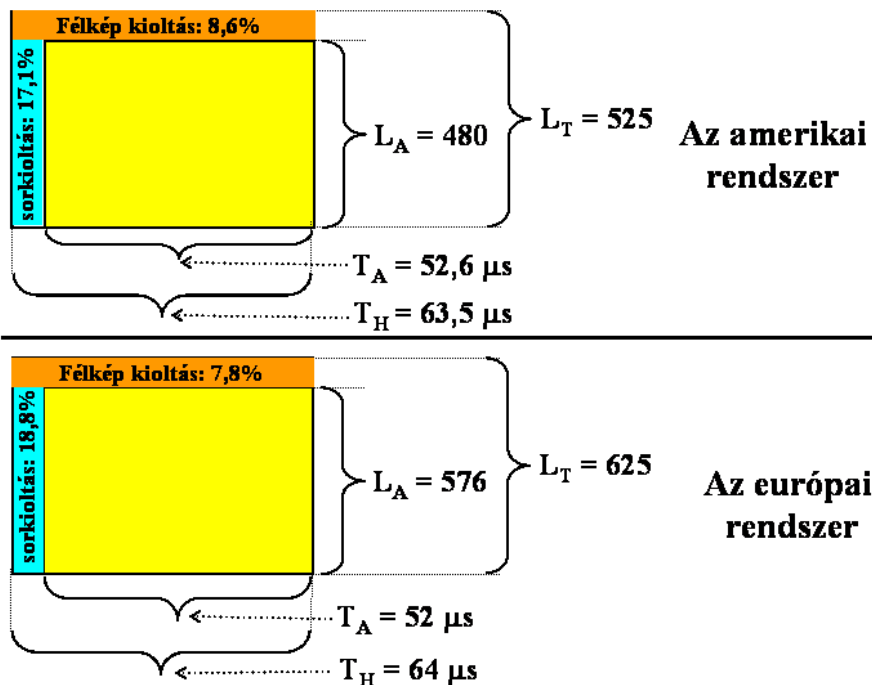
SD szinkron jelek

- Sorszinkron impulzusok:
 - szélességük: 4,7 μs (525/60 és 625/50 egyaránt!)
- Képszinkron impulzusok:
 - 3 H = 192 μs szélességű impulzus (525/60)
 - 2,5 H = 160 μs szélességű impulzus (625/50)
- Előkiegyenlítő jelek:
 - 3 soridőnyi (525/60)
 - 2,5 soridőnyi (625/50)
 - frekvenciájuk kétszeres sorfrekvencia
 - szélességük fele a sorszinkronjelének (2,3 μs)

SD félkép kioltás

- Egy teljes kép kioltó tartománya a két félkép kioltási ideje:
 - 625/50: a félkép kioltási idő kb. 25 tv-sor (1,6 ms)
 - 525/60: a félkép kioltási idő kb. 22 tv-sor (1,27 ms)
- A 625/50 rendszerben a két félkép kioltás 25 - 24 sora, tehát összesen 49, a képtartalom számára teljesen elveszik
- A 525/60 rendszerben 22-23 sor, összesen 45 sor a kioltási idő
- A megmaradó sorok részt vesznek a képinformáció továbbításában: ezeket nevezzük *aktív soroknak*
 - 625/50: az aktív sorok száma 576 (625 - 24 - 25)
 - 525/60: az aktív sorok száma 480 (525 - 22 - 23)





A videójel komponensei

A világosságjel (Y, Y')

- Egy színes képet a három alapszínjel (R, G, B) jellemzi
- A **világosságjel** a nem-lineáris transzfer karakterisztikával korrigált alapszínjelek (R', G', B') súlyozott összege
- A nem-lineáris karakterisztika az emberi látáshoz történő adaptációnak, és az akkor kizárólagosan alkalmazott CRT kijelzők transzfer karakterisztikájának köszönhető
- A súlyozott összeget a magyar nyelvhasználat világosságjelnek nevezi, az angol „luma”-ként azonosítja
- A videó területen a nem-lineáris transzfer karakterisztikával előállított alapszín jeleket vesszővel (R', G' és B') jelöljük

Videójel komponensei

- Tehát a nem-lineáris transzfer karakterisztika nélküli világosságjelet Y-nal, a korrigáltat vesszővel (Y') jelöljük
- Az SDTV ITU 601-es szabványa szerint a világosságjel:

$$Y'_{601} = 0,299 R' + 0,587 G' + 0,114 B'$$

- A HDTV ITU 709-es szabványa szerint:

$$Y'_{709} = 0,2126 R' + 0,7156 G' + 0,0722 B'$$

- A komponens videó rendszerekben 3 komponenst kell egymástól függetlenül kezelni és továbbítani

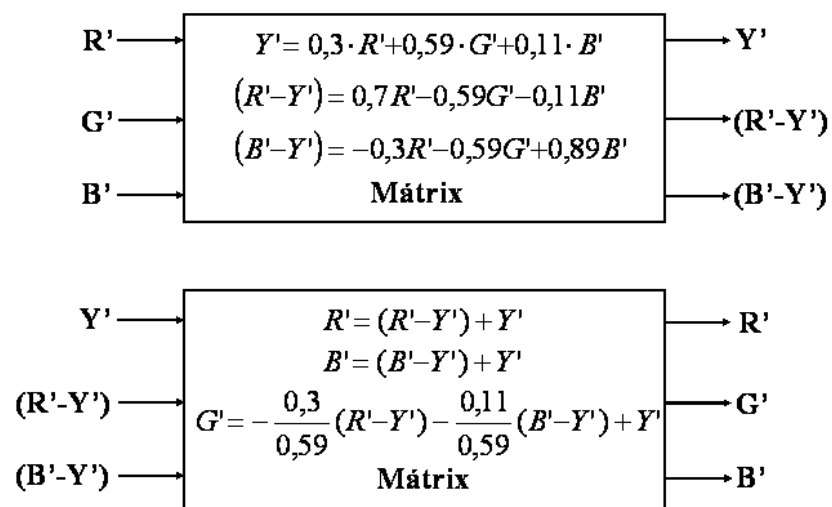
Videójel komponensei

- Kihasználva az emberi látórendszer (HVS) színekre vonatkozó kisebb érzékenységet, nem az R' , G' és B' alapszíneket, hanem a teljes sáv szélességű világosságjelet és a csökkentett sáv szélességű színelkülönbségi jeleket használjuk
- A két színelkülönbségi jel a megfelelő korrigált alapszínjel és a korrigált világosságjel különbsége
- Ez mátrioxolási művelettel biztosítható
- A sáv szélességet alul-mintavételezéssel csökkentjük
- Ezen alul-mintavételezés a szokásos nézőtávolságból nem okoz észrevehető felbontás romlást

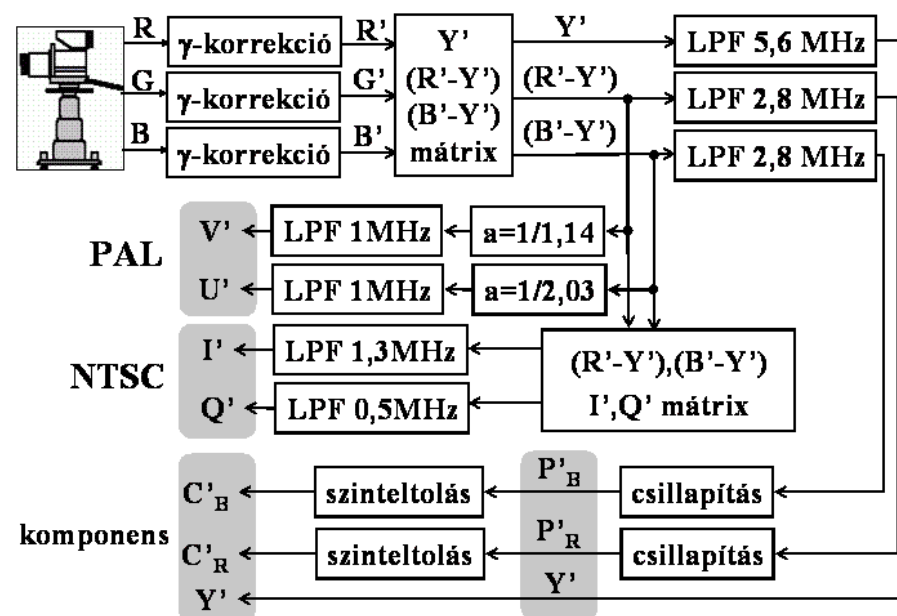
Jelformátumok

- $Y'U'V'$: kompozit NTSC és PAL rendszerekben, az U' és V' jeleket a két színelkülönbségi jelből a megfelelő korrekciós tényezőkkel korrigálják, jelenleg az analóg és a digitális komponens rendszerek nem alkalmazzák
- $Y'P'_BP'_R$: komponens analóg rendszer, a két színelkülönbségi jelet előre definiált módon korrigálják és analóg szűrőkkel a világosságjel sáv szélességének felére sávkorlátozzák
- $Y'C'_BC'_R$: komponens digitális rendszer, a két színelkülönbségi jelet a megfelelő színelkülönbségi jelekből az A-D átalakítás kivezérlési tartomány illesztése céljából korrigálják, majd a mintavételi struktúrának (4:2:2, 4:1:1, 4:2:0) megfelelően alul-mintavételezik (lásd később)

SD jeltér konverzió



SD jelkomponens előállítás



SD komponens rendszerek jelkomponensei

Komponens	Összefüggés	Dinamika tartomány
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 ... +0,5
P' _B	$(0,5/0,89) \cdot (B' - Y') = 0,564 \cdot (B' - Y')$	-0,5 ... +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 mV

A P'_B/P'_R értéktartománya feszültségben: ∓ 350 mV

A C'_B/C'_R értéktartománya feszültségben: 0 - 700 mV

SMPTE 274M és 296M **HD** jelkomponensei

Komponens	Összefüggés	Dinamika tartomány
Y'	$0,213 \cdot R' + 0,715 \cdot G' + 0,072 \cdot B'$	0 ... 1
P' _R	$0,5/0,787 \cdot (R' - Y') = 0,635 \cdot (R' - Y')$	-0,5 ... +0,5
P' _B	$0,5/0,928 \cdot (B' - Y') = 0,539 \cdot (B' - Y')$	-0,5 ... +0,5
C' _R	$0,635 \cdot (R' - Y') + 0,5$	0 ... 1
C' _B	$0,539 \cdot (B' - Y') + 0,5$	0 ... 1

Az Y' értéktartománya feszültségben: 0 - 700 mV

A P'_B/P'_R értéktartománya feszültségben: ∓ 350 mV

A C'_B/C'_R értéktartománya feszültségben: 0 - 700 mV

A videójel digitalizálása

A valóságos képek folyamatosak

- A vízszintes és függőleges síkban (x,y)
- Időben (t)
- Színben (λ)
- Intenzitásban
- Telítettségben
- Utóbbi hármat a következő mennyiségekkel adhatjuk meg:
 - $[R', G', B']$, $[Y', (R' - Y'), (B' - Y')]$, $[Y', U', V']$, $[Y', P'_R, P'_B]$
 $[Y', C'_R, C'_B]$, számos független változóval rendelkeznek
- Analóg reprezentáció:
 - 2-D esetben (állókép) pl. : $Y'(x,y)$, $C'_R(x,y)$, $C'_B(x,y)$
 - 3-D esetben (mozgókép) pl.: $Y'(x,y,t)$, $C'_R(x,y,t)$, $C'_B(x,y,t)$
 - De kezelni, dolgozni vele szinte lehetetlen

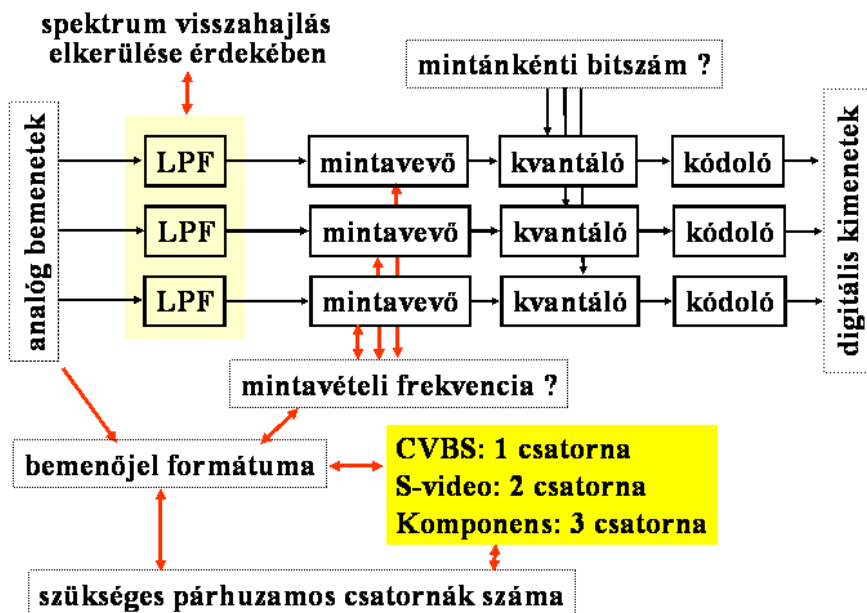
Digitális feldolgozás esetén

- Diszkrét koordináták, mind térben, mind időben
- Diszkrét szín komponensek (általában 3, néha 4 [α])
- Komponensenként diszkrét számú szint (512, 256, stb.)
- Ezzel pl. az $Y'(x,y,t)$, $C'_R(x,y,t)$, $C'_B(x,y,t)$ átalakul:
 $Y'(i,j,k)$, $C'_R(i,j,k)$, $C'_B(i,j,k)$
- A tökéletes reprezentálásnak számos előfeltétele van:
 - Mintavételi frekvencia helyes megválasztása
 - Komponensek mintánkénti bitszáma
- A mintavételezés minimálisan 2-D, de csak állóképre
- A mozgókép állóképek időbeli sorozata, ami természetesen a 3., az idő irányú mintavételezésként értelmezhető

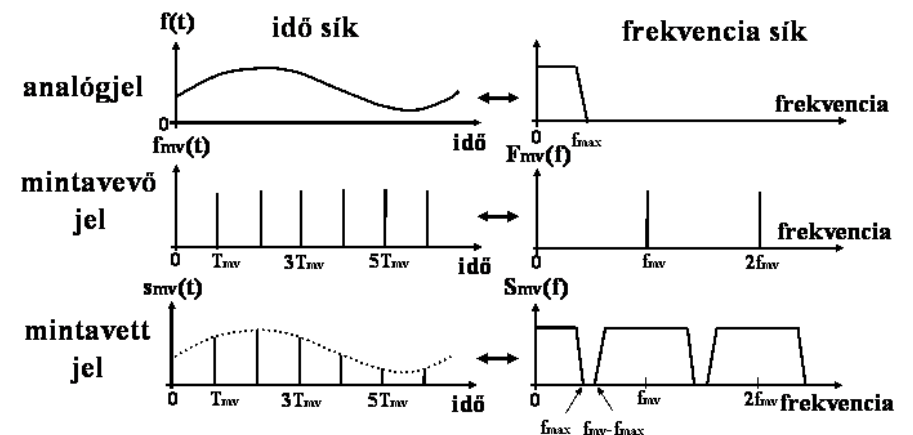
A digitális jelek alkalmazásának előnyei

- Immunitás a tárolási, rögzítési torzítással és zajjal szemben
- A hibajavító képesség biztosítható hibakorrekciós eljárás alkalmazásával
- A digitális adatfolyamok egyszerűen multiplexálhatók
- Tárolás, rögzítés, késleltetés, manipuláció lényegesen egyszerűbb és nagyobb hatékonyságú
- A mozgókép könnyen integrálható különböző multimédia tartalmakkal, s azok együttes manipulációja informatikai eszközökkel biztosítható
- A digitális áramkörök: kevesebb beállítás, az üzemeltetés és karbantartás sokkal egyszerűbb és olcsóbb

Analóg-digitális átalakítás



Az A-D átalakítás jelalakjai és spektrumai



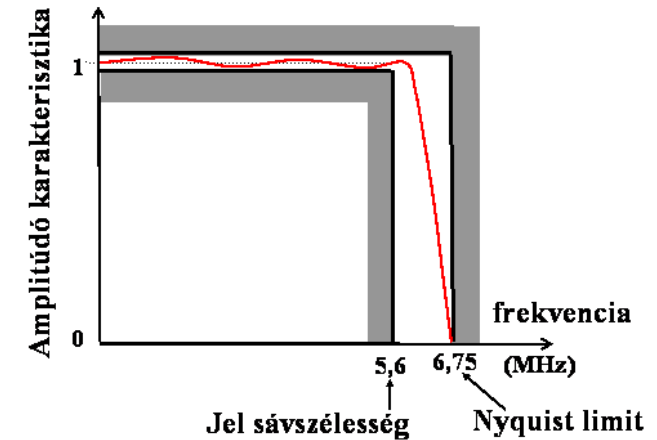
- Feltételezések:
 - Az analógjel spektrumának sávkorlátozottnak kell lennie
 - A mintavételi frekvenciának olyannak kell lenni, hogy ne következzen be spektrum átlapolódás (aliasing)

Az A-D átalakítás néhány kritikus kérdése

- A hagyományos analóg-digitális átalakítás kényes pontja a spektrum visszahajlás elleni analóg szűrő megvalósítása
- A szűrővel szembeni két kritikus követelmény:
 - Nyquist ponton mindent elnyomjon
 - Átereszti sávban amplitúdó és fázisment hibát ne okozzon
- Ugyanakkor a mintavételi frekvenciát a Nyquist szerinti lehető legkisebbre szeretnénk választani
- Ezzel ugyanis csökken az átalakítás által generált információ mennyisége
- Ez pedig minden szempontból (jelfeldolgozás, tárolás, átvitel) előnyös lenne
- E feltételek együtt sajnos nem biztosíthatók

Nézzük SD videóra

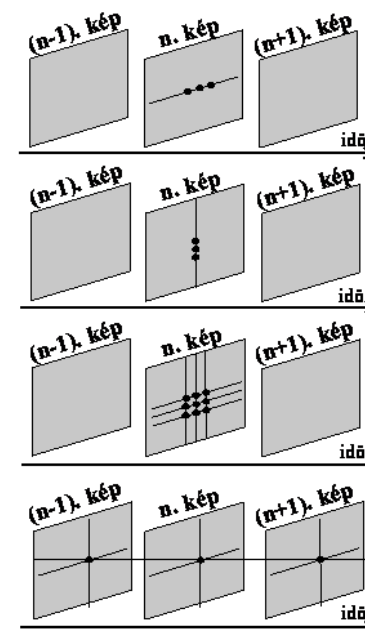
- Pl. a 601-es videó esetében a világosságjel mintavételi frekvenciája 13,5 MHz, míg sávszélesség 5,6 MHz
- Az elvárt szűrő karakterisztika séma a következő:



Túl-mintavételezés

- A szűrő átmeneti frekvencia tartománya nagyon kicsi
- Ezért hagyományos szűrővel nehéz megvalósítani
- A probléma az un. túl-mintavételezéssel oldható fel
- Túl-mintavételezés során a Nyquist szerint szükséges mintavételi frekvencia többszörösét alkalmazzuk
- Pl. a 601-es videó kétszeres túl-mintavételezése során a mintavételi frekvencia 27 MHz
- Ami sokáig nem volt implementálható
- Mára azonban a túl-mintavételezés implementációs költsége lényegesen alacsonyabb, mint a szükséges analóg szűrő pontos megvalósítása

Kép digitalizálás



vízszintes mintavételezés (Δx)
vízszintes térbeli frekvencia
tartomány

függőleges mintavételezés
függőleges térbeli frekvencia
tartomány

2-D térbeli mintavételezés
térbeli frekvencia tartomány

időbeli mintavételezés
frekvencia tartomány

Videó mintavételi frekvencia megválasztása (ITU-R BT. 601-es megfontolások)

- Alapkövetelmények:

- Európai és amerikai rendszerre közös mintavételi frekvencia
- Ortogonális mintastruktúra, tehát egy tv-sorba egész számú mintavételi periódus férjen bele:

$$f_{mv} = n \times f_H^{EU} \quad \text{és} \quad f_{mv} = k \times f_H^{USA}$$

- Az európai sorfrekvencia: $f_H = 15625\text{Hz} = 5^6$
- Az amerikai azonban a következő összefüggéssel számítható:

$$f_H^{USA} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{286} = 15734,2..$$

- Írjuk át az NTSC sorfrekvenciát:

$$f_H^{USA} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{286} = \frac{2^4 \cdot 3^2 \cdot 5^6}{11 \cdot 13} \text{Hz}$$

- Egyébként az új és a régi amerikai sorfrekvencia aránya:

$$f_H^{új} = \frac{285}{286} f_H^{régi} = \frac{1000}{1001} f_H^{régi}$$

- Az európai és az amerikai sorfrekvenciák aránya:

$$\frac{f_H^{USA}}{f_H^{EU}} = \frac{2^4 \cdot 3^2 \cdot 5^6}{11 \cdot 13} = \frac{2^4 \cdot 3^2}{11 \cdot 13} = \frac{144}{143}$$

- A legkisebb közös többszörös:

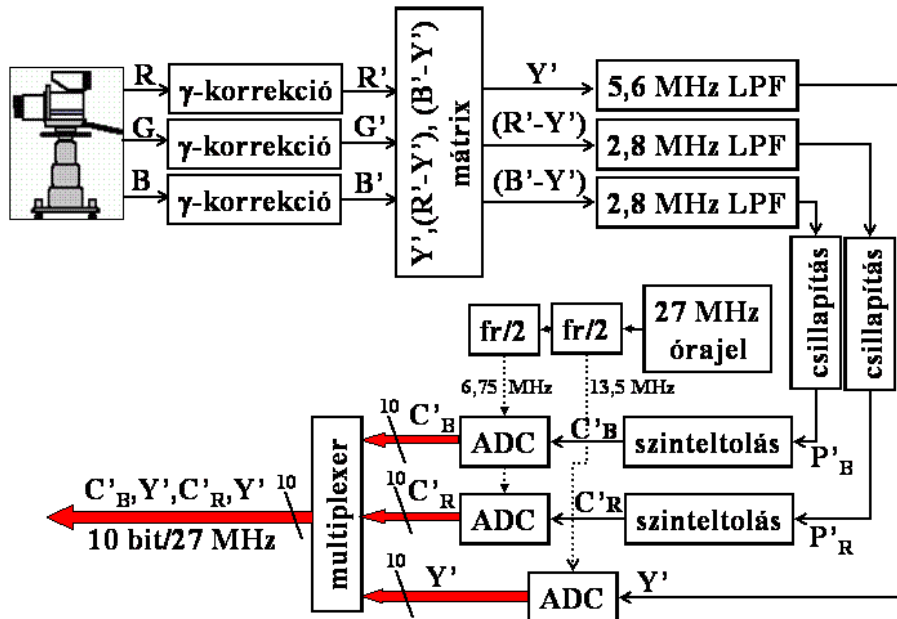
$$143 \cdot f_H^{USA} = 144 \cdot f_H^{EU} = 2,25\text{MHz}$$

- A mintavételi frekvenciának nagyobbak kell lennie, mint a videójel 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 a HVS tulajdonságaira, felezett mintavételi frekvenciát (6,75MHz) választottak
- Ezekhez a mintavételi frekvenciákhoz a következő alapsávi sávzélességek és soron belüli mintaszámok tartoznak

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

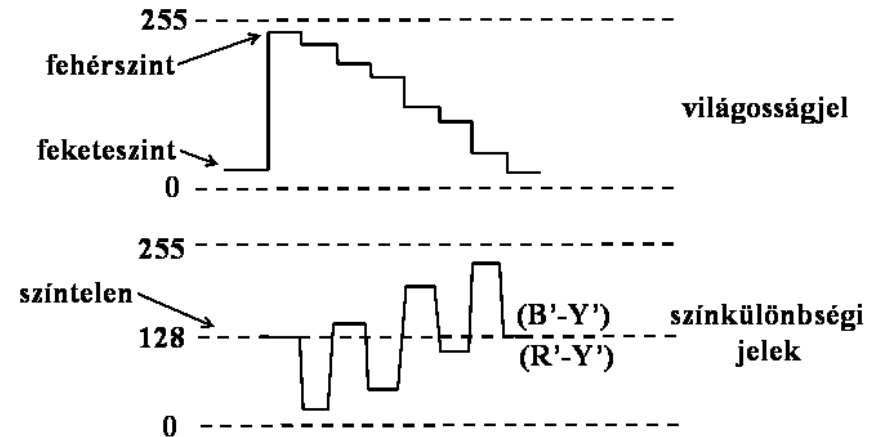
- A tv-sor aktív idejét névlegesen 53,3 μsec választották, amely soronként 720 mintát eredményez
- A tényleges aktív időtartamra azonban csak 702 minta jut
- Az amerikai és az európai tv-sor azonos számú mintát tartalmaz, ami formátum konverziók (EU, USA) esetén, szükségtelenné teszi a vízszintes térbeli konverziót

Jelkomponens előállítás (elvi)



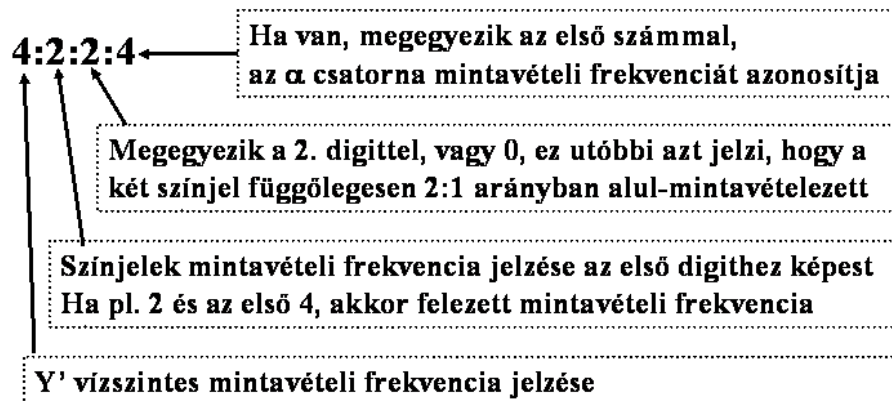
Dinamika tartomány komponens jelre (8bit)

- A világosságjelnek és a színkülönbségi jeleknek bele kell férnie a dinamika tartományba
- Tiltott kódok (0, 255) szinkronizációs célokra



Mintastruktúra jelzése

- Mintastruktúra: Y', C'_R, C'_B mintavételi helyek szerkezete
- Kezdetben a mintastruktúra jelzés egyértelmű
- A technológia fejlődése azonban összekuszálta
- Jelenleg a következő jelölésrendszert alkalmazzuk:

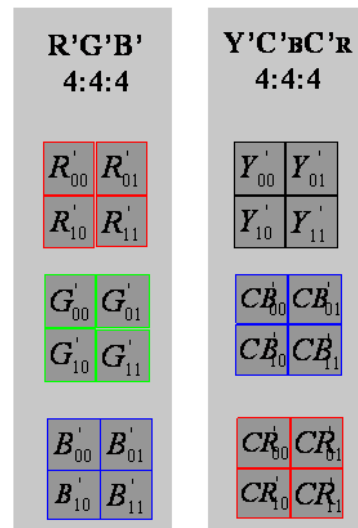


Mintastruktúra jelzése

- A digitális videó hajnalán a mintastruktúra jelzés teljesen konzekvens volt
- Benne az első digit az Y mintavételi frekvenciát szolgáltatotta, a $3+3/8$ MHz és a digit szorzataként
- A 2. és 3. digit a kék és a vörös színjel mintavételi frekvenciát jelezte, a $3+3/8$ MHz és a megfelelő digit szorzataként
- HD esetén olyan jelzésre is szükség lett volna, mint 22:11:11
- Ezért a HD bevezetésével az első szám a referencia, minden mögötte lévő az első számhoz képesti arányt mutatja
- Ma már nem minden esetben 4-es az első szám

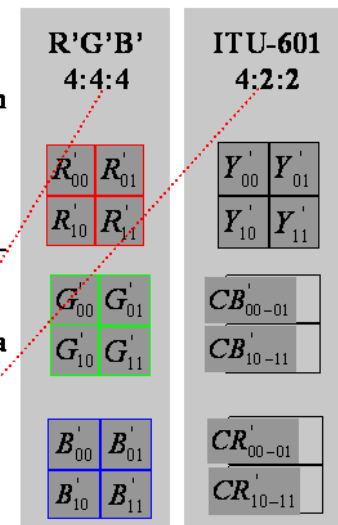
4:4:4-es mintastruktúra

- A minta struktúra minden tv-sorban azonos
- Alapegység: egy pixel
- 8, 10 bit/minta/komponens
- 8 bites: 3 bájt = 24 bit
- 10 bites: 3 x 10 bit = 30 bit



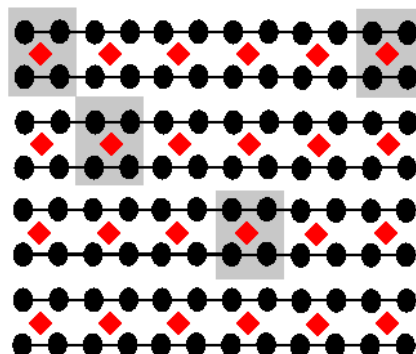
ITU 601-es 4:2:2-es minta struktúra

- A bemenő kép formátuma: 4:4:4
- Alapegység 2 pixel vízszintesen
- A minta struktúra minden tv-sorban azonos
- 8, 10 bit/minta/komponens
- Két színkülönbségi jel vízszintesen 2-vel alul-mintavételezett
- A maradó minták egybe esnek a páratlan sorszámú Y mintákkal
- 8 bites: 2+1+1 bájt = 4 bájt = 32 bit
- 10 bites: (2+1+1) x 10 bit = 40 bit
- Kompressziós tényező: 3:2



4:2:0 mintastruktúra

- A bemenő képformátum: 4:2:2
- Az alapegység: 2x2 pixel
- A két színkülönbségi jelet vízszintesen és függőlegesen is 2-vel alul-mintavételezzük
- A színminták függőlegesen 2 sor, vízszintesen 2 szomszédos minta közé kerülnek
- 8 bit: 4+1+1=6bájt = 48bit
- 10 bit: (4+1+1)x10 = 60bit
- A kompressziós tényező: 4:3



♦ : C_R, C_B szín minták
 ● : világosság minták
 ■ : alap egység

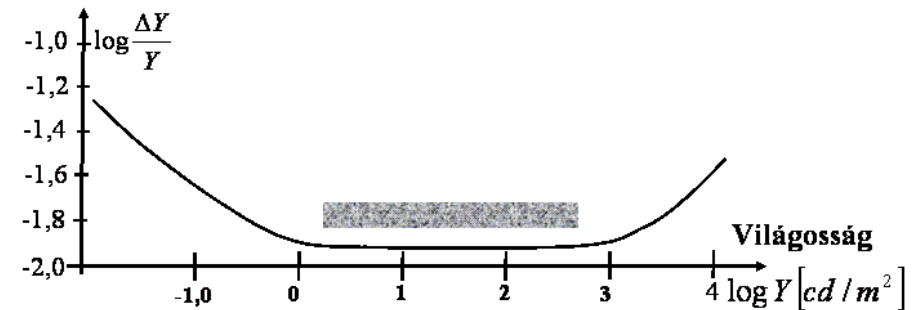
Mintánkénti bitszám?

HVS tulajdonságai

- Egyedi stationer adaptációs állapotban a HVS kb. 1000:1 világosság tartományt képes megkülönböztetni
- Mozgóképfeldolgozás esetén a vizsgálatok szerint csak a 100:1-es átfogás tartományt vagyunk képesek érzékelni
- Ez azt jelenti, hogy az 1%-nál kisebb világosságú diffúz fény még nem különböztethető meg a feketétől
- Vagy másként az emberi látás nem tud megkülönböztetni két világosság értéket, ha azok eltérése 1%-nál kisebb
- Ez a világosság különbség a kontraszt érzékelési küszöb

Kontraszt érzékelési küszöb

- Kb. 300:1 intenzitás tartományban a HVS kontraszt érzékelési küszöbe ($\Delta Y/Y$) arányos a világossággal
- Logaritmikus skálán a $\Delta Y/Y = -1,9$, ami közel van az 1%-hoz
- Ennek segítségével meghatározható, hogy a HVS-hez illeszkedő ADC esetén mennyi diszkrét kódot kell alkalmazni

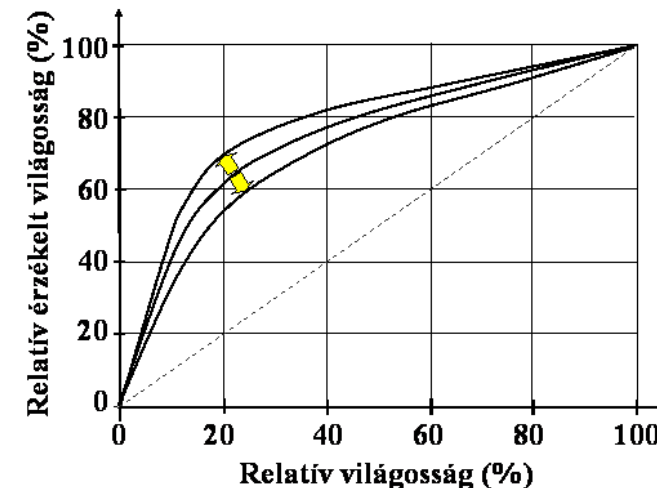


Kontraszt érzékelési küszöb

- Ha a kérdéses tartomány 100:1 és biztosítani kell az 1%-os felbontást, $100 \times 100 = 10000$ kódszóra lenne szükség (14bit)
- Ha a kódszavak elhelyezkedése megfelel az 1,01 relatív lépésköznek, akkor csak 463 kódszóra lenne szükség, ami csak kilenc bit ($1,01^x = 100$, ebből $x = 463$)
- A fentiek logaritmikus kódolás lehetőségét jelzik
- A vizsgálatok azonban azt mutatták, hogy sokkal jobb közelítést (HVS) ad a hatványfüggvény
- Hiszen a tapasztalatok szerint látás kontraszt érzékelési képessége kis Y értékeknél sokat romlik

A HVS világosság érzékenysége

- A HVS világosság érzékelése tehát közel sem lineáris
- Az idők során számos közelítő görbét javasoltak



A HVS világosság érzékenysége

- Végül a CIE 1976-ban szabványosította a HVS világosságra vonatkozó érzékenységét
- Ami a fekete közelében linearizált hatványfüggvény:

$$L^* = \begin{cases} 9,033 \frac{Y}{Y_n} & \text{ha } 0 \leq \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \\ 1,16 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 0,16 & \text{ha } 0,008856 < \frac{Y}{Y_n} \end{cases}$$

- L^* : érzékelt világosság 0-1 közötti
- Y : CIE fénysűrűség
- Y_n : referencia fehér, az Y/Y_n a relatív fénysűrűség

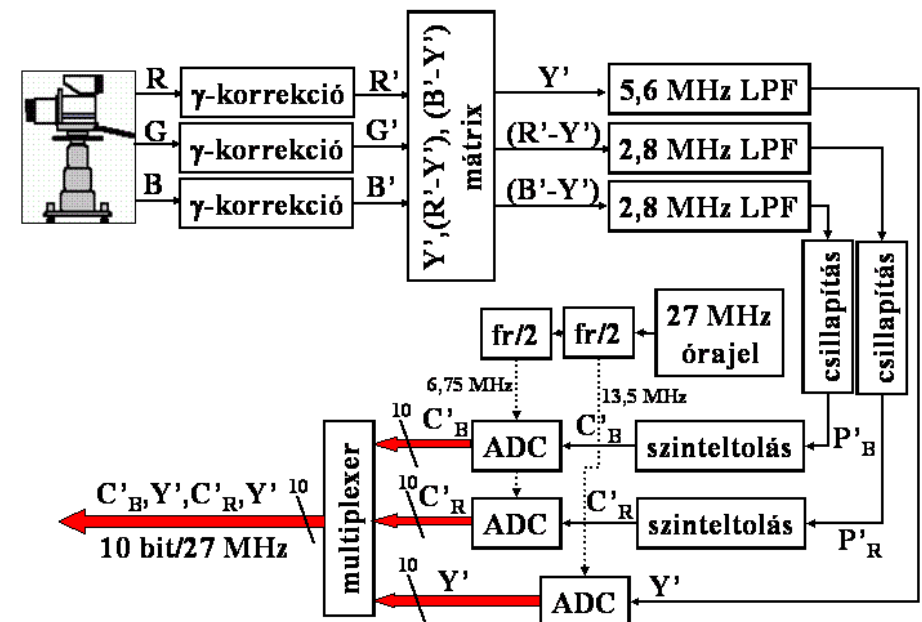
A HVS világosság érzékelése és a gamma

- Az 1/3-os exponens, az egynél nagyobb szorzó és a -0,16-os offset miatt a görbét egy 0,4-es hatványfüggvény jól közelíti
- Durván szólva a HVS világosság érzékelése a relatív világosság (Y/Y_n) 0,4-es hatványa
- A CRT kijelzők fény intenzitása nem lineáris kapcsolatban van a katódot vezérlő feszültséggel
- $L=U^\gamma$, ahol γ az első képcsövek esetében 2,2 volt
- A γ értéke a katód, a rács, és az elektronsugár kölcsönhatásától és az elektronágyú szerkezetétől függ
- Vegyük észre, hogy ez majdnem pontosan megegyezik a HVS transzfer karakterisztikájával

Mennyi legyen akkor a bitmélység?

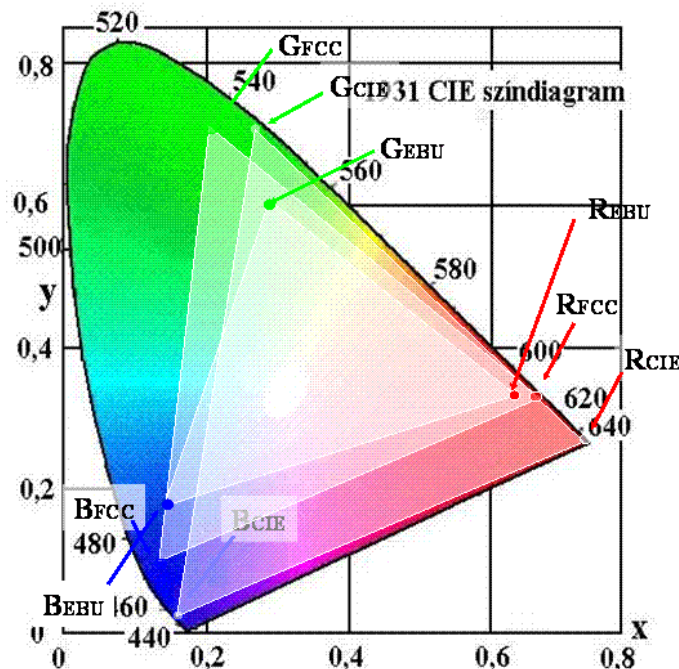
- A cél olyan ADC, amely érzékelés szerinti
- A HVS majdnem konstans 1%-os világosság különbség érzékelési képességét figyelembe véve, logaritmikus kódolással 9 bit elegendő
- De nem logaritmikus, hanem olyan hatványfüggvény szerinti kódolást alkalmazunk, ami jól közelíti a HVS érzékenységét és közel van a gammához (0,4 körüli)
- Ekkor eggyel több (10) bit kell
- A kezdeti stúdiók 8 bites nem-lineáris kódolással dolgoztak, elsősorban technológiai okok miatt, mára általános a 10 bit

Jelkomponens előállítás



Alapszín történelem

- Az additív RGB rendszert egyértelműen specifikálja a alapszínek és a választott fehér pont koordinátái
- A reprodukálható színtartomány (gamut) a három alapszín által kifeszített háromszög területe és oldalai
- 1931: CIE RGB (spektrálszínekkel)
- 1953: CRT RGB alapszínek választása, ez az FCC színhármas
- Mire az első képmagnók megjelennek, már mások a CRT alapszínek, ennek ellenére a szabványt nem módosítják
- „A” mátrixot még 1953 határozták meg, innen ered a sokat emlegetett Y egyenlet
- E koefficienseket 1984-ben az ITU 601-es szabvány is átveszi



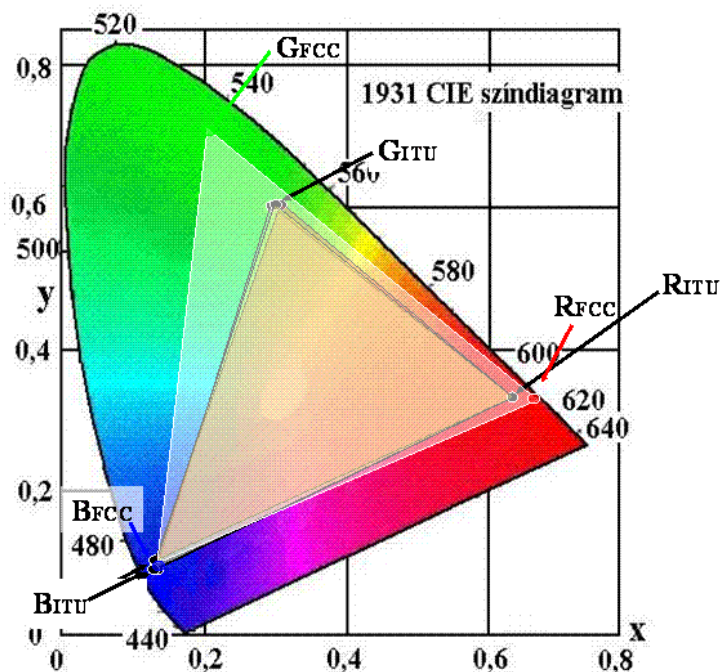
A CIE színháromszög és a CIE, FCC és EBU alapszínek

Alapszín történelem

- 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
- 1980: Az SMPTE RP 145 új színmérő rendszert definiál HD és másodsorban az NTSC rendszer számára
- E 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, de csak színmérési

EBU, SMPTE, ITU 709 (sRGB) színkoordináták

színkoordináták	x	y	
REBU	0,64	0,33	EBU színmérő
GEBU	0,29	0,60	
BEBU	0,15	0,06	
„D fehér”	0,3127	0,3290	
RSMPTE	0,63	0,34	SMPTE RP 145
GSMPTE	0,31	0,595	
BSMPTE	0,155	0,07	
„D fehér”	0,3127	0,3290	
REBU = RITU709	0,64	0,33	ITU 709
(GEBU+GSMPTE)/2= GITU709	0,3	0,6	
BEBU = BITU709	0,15	0,06	
„D fehér”	0,3127	0,3290	



Az EBU, SMPTE és ITU709-es
színháromszög

HD képminőség

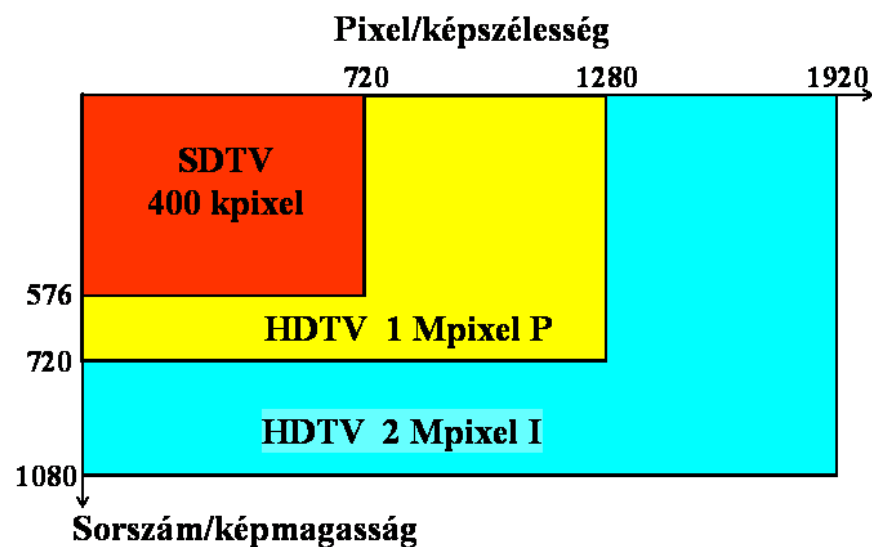
Mi a HD minőség?

- A vízszintes felbontás minimum kétszer akkora, mint az SD vízszintes felbontása (pixelszám 1200-nál több)
- A függőleges felbontás minimum kétszer akkora, mint az SD függőleges felbontása (a sorszám 1000 körüli)
- 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

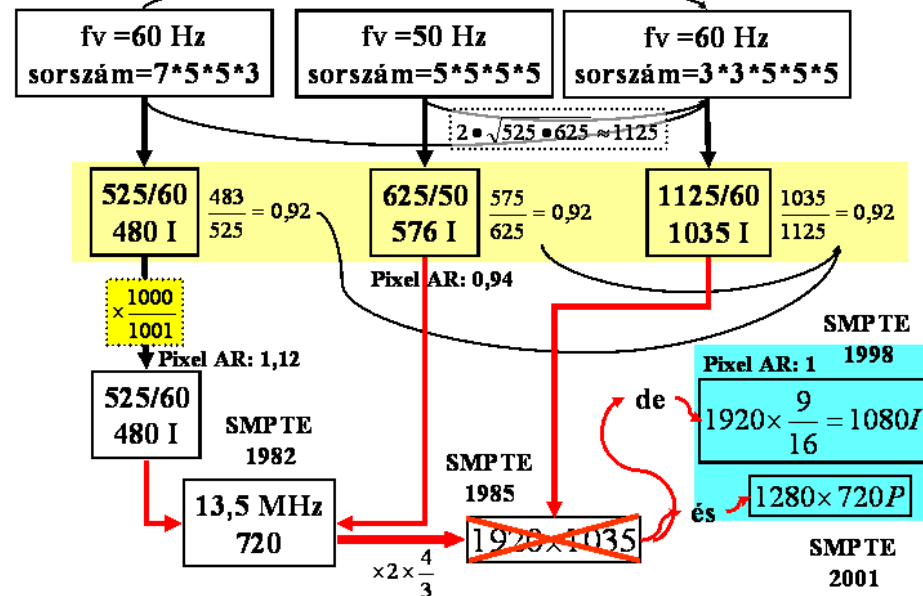
Általában a HD formátumokról

- A HD képformátum a kétszeresére növelt vízszintes és függőleges felbontás, valamint a 4:3-as képméretarány 16:9-re növelése miatt a 601-es mintavételi frekvencia minimum $2 \times 2 \times 4/3 = 16/3$ -szorosát igényli
- A gyakorlatban az 5,5-szeresét választották
- Ezzel a HD formátumok világosságjelének mintavételi frekvenciája: 74,25 MHz ($5,5 \times 6 \times 2,25 = 33 \times 2,25$ MHz) lett
- Az implementálható pixelsebesség ekkor kb. 60 Mpixel/sec
- 2 Mpixel/kép és 30 Hz-es képfrekvencia mellett váltott-soros
- 1 Mpixel/kép és 60 Hz képfrekvencia mellett progresszív

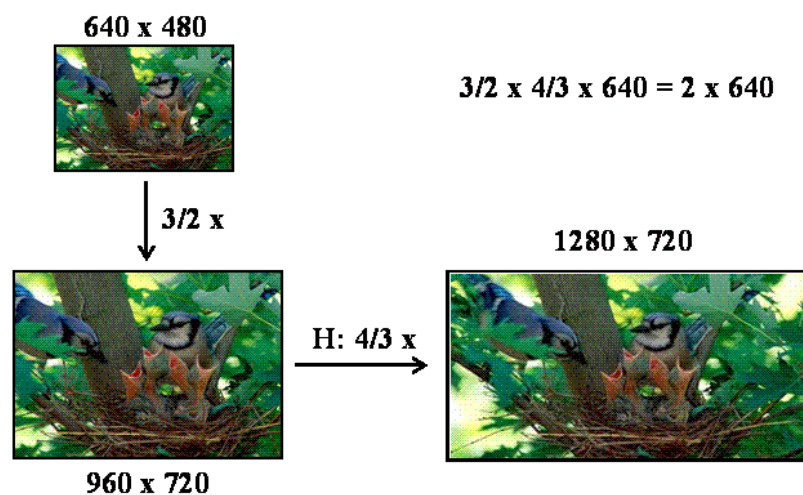
SD/HD képfarmátumok



HD mintavételi frekvencia megfontolások



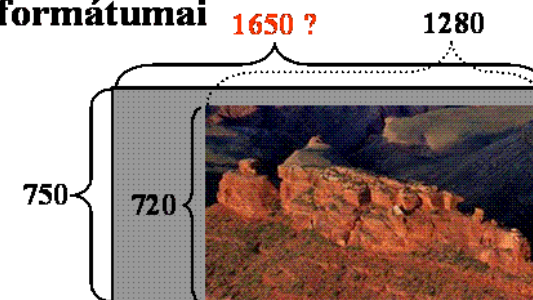
A 720P származtatása



Az SMPTE HD formátumai

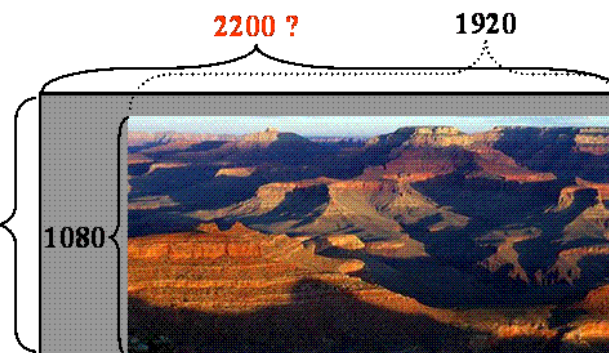
SMPTE 296M

- 720p60
- 1280x720
- adatsebesség?



SMPTE 274M

- 1080p
- 1080i
- 1920 x 1080
- adatsebesség?



HD szabványok (nem teljes azonosítóval)

- SMPTE 293M-1996: 720 x 483 Active Line at 59.94-Hz Progressive Scan
- SMPTE 240M-1999: 1125-Line HD Production Systems
- SMPTE 260M-1999: Digital Representation and Bit-Parallel Interface - 1125/60 HD Production System
- SMPTE 274M-1998: 1920 x 1080 Scanning and Interface
- SMPTE 296M-2001: 1280 x 720 Scanning
- ITU-R BT.709: HDTV Standards for production and Programme Exchange (1125/60/2:1 and 1250/50/2:1)

A 709-es optikai-elektromos karakterisztikája

$$V'_{709} = \begin{cases} 4,5L & \text{ha } 0 \leq L < 0,018 \\ 1,099L^{0,45} - 0,099 & \text{ha } 0,018 < L \leq 1 \end{cases}$$

$L=R, G, B$ lineáris alapszínek

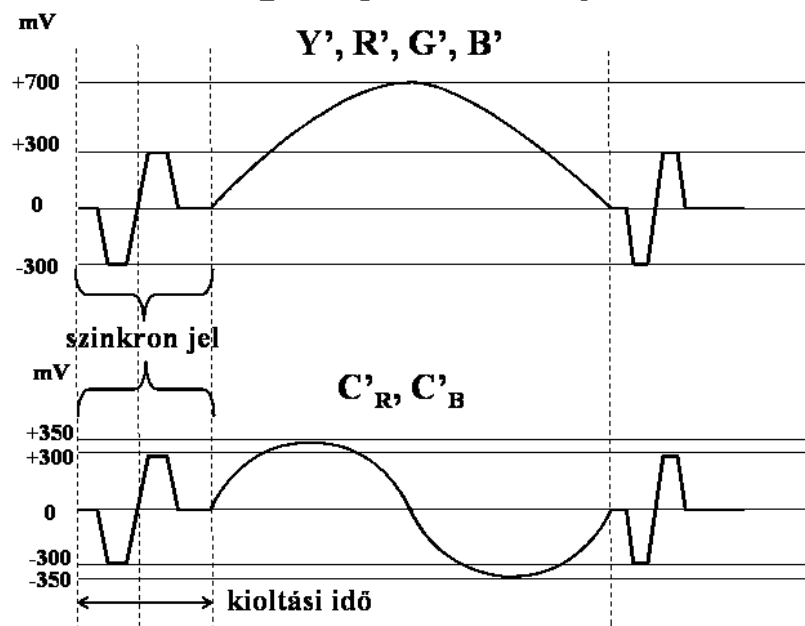
$V'= R', G', B'$ alapszínek

$$Y' = 0,21 \cdot R' + 0,72 \cdot G' + 0,07 \cdot B'$$

$$P'_B = \frac{0,5}{1 - 0,07} (B' - Y')$$

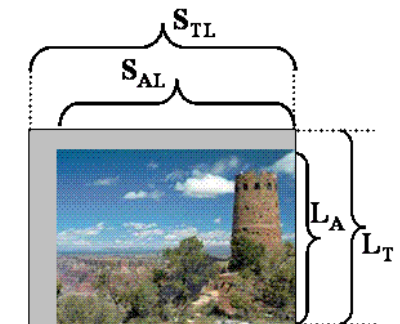
$$P'_R = \frac{0,5}{1 - 0,21} (R' - Y')$$

Analóg HD jel tartományok



Videó adatsebesség számítás

- Összes tv-sorok száma/kép: L_T
- Aktív tv-sorok száma/kép: L_A
- Összes minták száma/tv-sor: S_{TL}
- Aktív minták száma/tv-sor: S_{AL}
- n : bitszám/minta/komponens



- Adatsebesség/komponens: $S_{AL} \times L_A \times f_{\text{kép}} \times n$
- 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: $S_{AL} \times L_A = 1920 \times 1080 = 2073,6$ Kminta/kép
- SMPTE 296: $S_{AL} \times L_A = 1280 \times 720 = 921,6$ Kminta/kép

SMPTE 274M HDTV formátumai

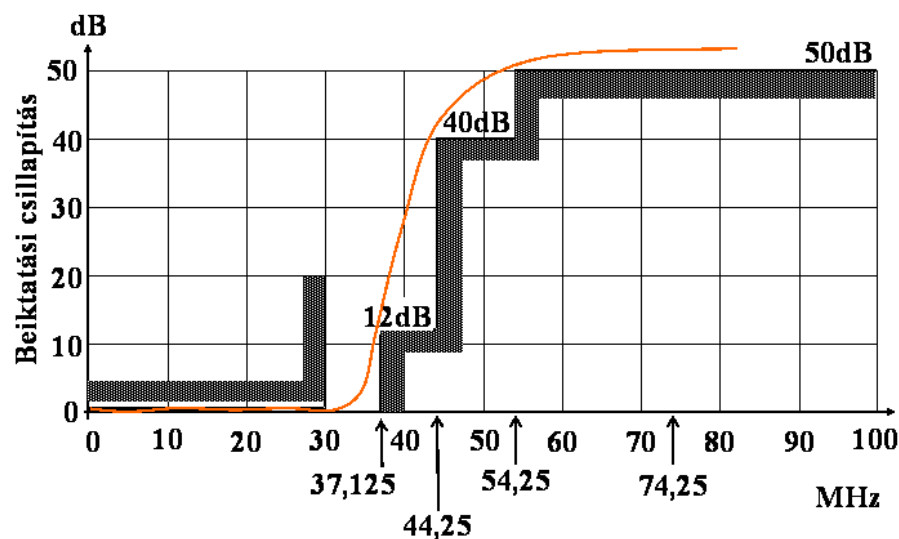
	Jelölés mintaszám x sorszám / képfrekvencia / progresszív/interlace	Videó adatssebesség 4:2:2 (Gbit/s)	Videó adatssebesség 4:4:4 (Gbit/s)	Mintavételi frekvencia (MHz)	Mintaszám/ tv-sor
1	1920 x 1080/60/P	2,49	3,70	148,5	2200
2	1920 x 1080/59,94/P	2,49	3,70	148,5/1,001	2200
3	1920 x 1080/50/P	2,07	3,08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

SMPTE 274M sávszélességek és mintasebességek

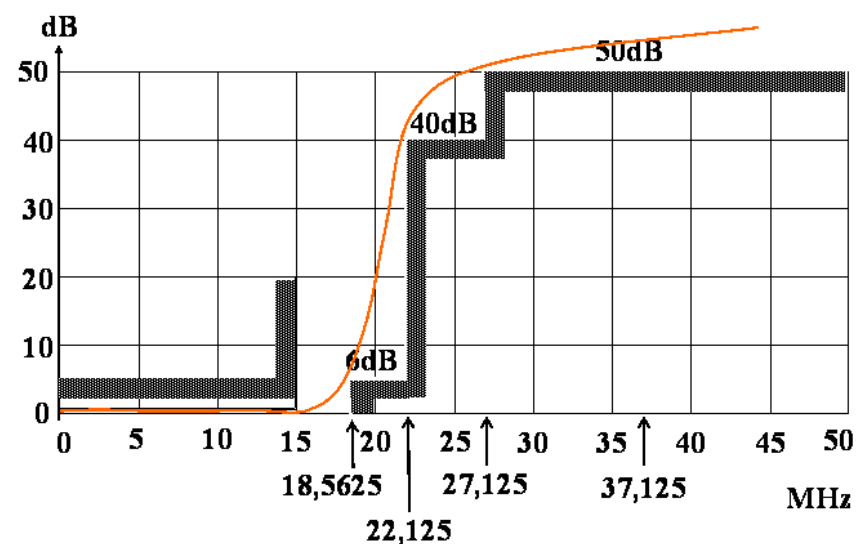
		1-3 rendszerek	4-11 rendszerek		
	Komponens	4:2:2	4:4:4	4:2:2	4:4:4
Sávszélesség	R',G',B',Y'	60MHz	60MHz	30MHz	30MHz
	C' _R ,C' _B	30MHz	60MHz	15MHz	30MHz
Mintavételi frekvencia	R',G',B',Y'	148,5MHz	148,5MHz	74,25MHz	74,25MHz
	C' _R ,C' _B	74,25MHz	148,5MHz	37,125MHz	74,25MHz
Tv-soron belüli mintaszám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

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

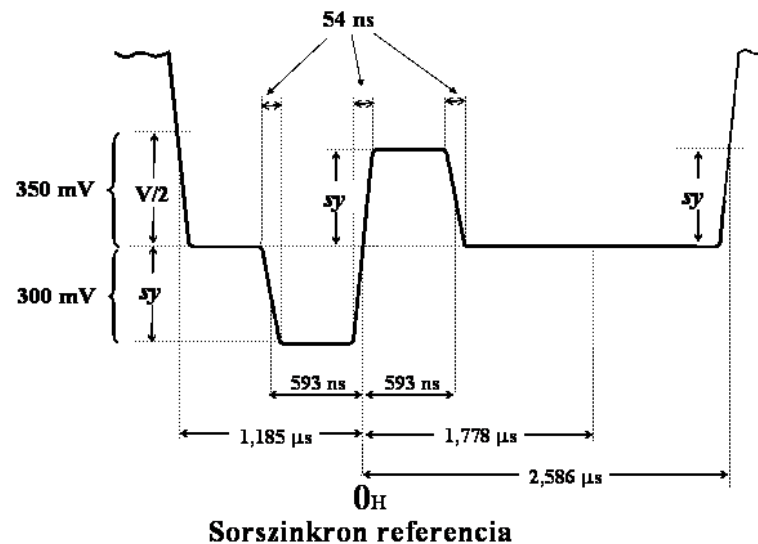
R',G',B',Y' szűrő sablon a 1080/50/I rendszerben



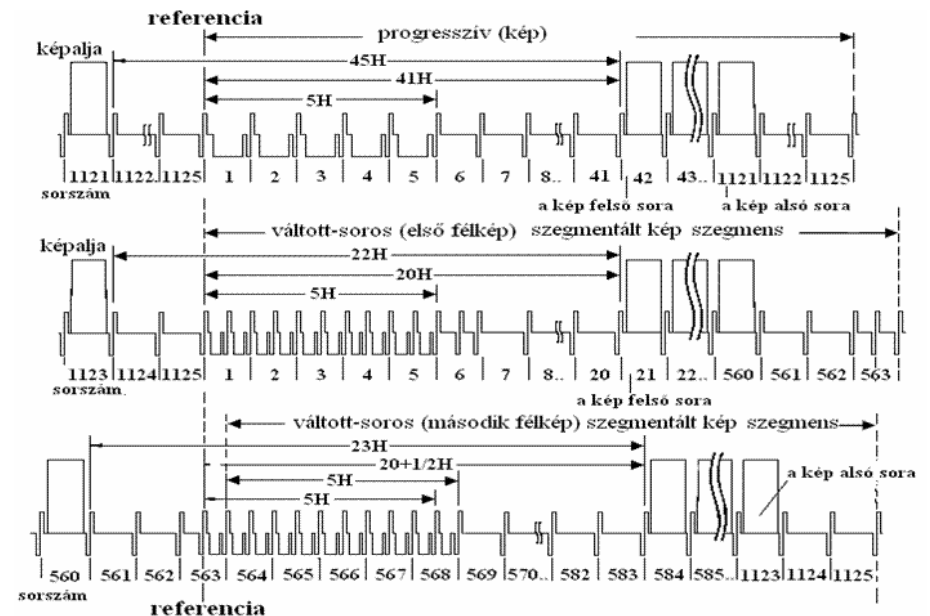
C'_R,C'_B szűrő sablon a 1080/50/I rendszerben



Szinkron impulzus pl. az 1080/60/I rendszerben



SMPTE 274M HD kép/félkép szinkron felépítése



SMPTE 274M komponensek digitális reprezentálása

$$R'_{\text{digi}} = 219 \cdot D \cdot R' + 16 \cdot D + 0,5$$

$$G'_{\text{digi}} = 219 \cdot D \cdot G' + 16 \cdot D + 0,5$$

$$B'_{\text{digi}} = 219 \cdot D \cdot B' + 16 \cdot D + 0,5$$

$$Y'_{\text{digi}} = 219 \cdot D \cdot Y' + 16 \cdot D + 0,5$$

$$C'_{R\text{digi}} = 224 \cdot D \cdot C'_R + 128 \cdot D + 0,5$$

$$C'_{B\text{digi}} = 224 \cdot D \cdot C'_B + 128 \cdot D + 0,5$$

$$D = 2^{n-8}$$

- 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 274M kódtartományok

	254	1019	4079	
Y' R' G' B'	235	940	3760	Túl-lövés
	8 bites mód	10 bites mód	12 bites mód	Normál kivezérlési tartomány
	16	64	256	
	01	04	16	Alul-lövés
C' _R C' _B	254	1019	4079	
	240	960	3840	Túl-lövés
	8 bites mód	10 bites mód	12 bites mód	Normál kivezérlési tartomány
	16	64	256	
	01	04	16	Alul-lövés

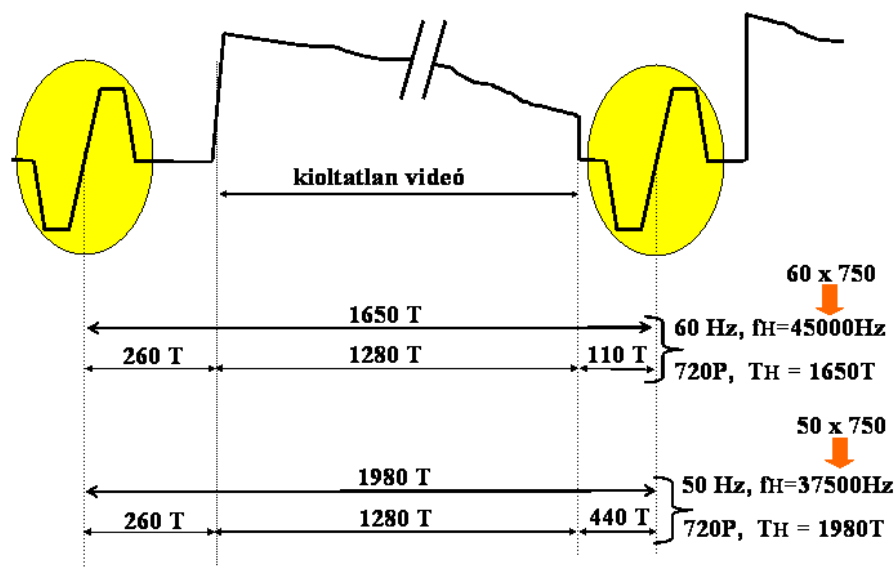
SMPTE 296M szabvány HDTV formátumai

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

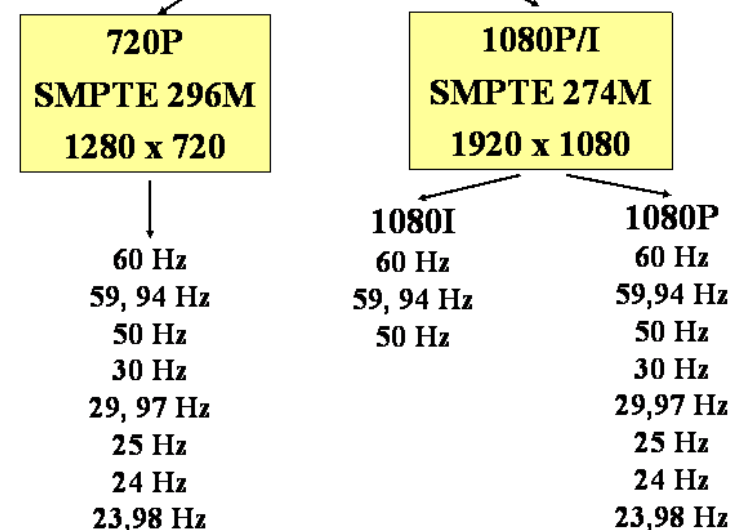
SMPTE 296M sávszélességek és mintasebességek

		1-3 rendszerek	4-8 rendszerek	4-8 rendszerek	
	komponens	4:2:2	4:4:4	4:2:2	4:4:4
Sávszélesség	R',G',B',Y'	36MHz	36MHz	18MHz	18MHz
	C' _R , C' _B	18MHz	36MHz	9MHz	18MHz
mintavételi frekvencia	R',G',B',Y'	148,5MHz	148,5MHz	74,25MHz	74,25MHz
	C' _R , C' _B	74,25MHz	148,5MHz	37,125MHz	74,25MHz
tv-soron belüli aktív minta	R',G',B',Y'	1280	1280	1280	1280
	C' _R , C' _B	640	1280	640	1280
interfész sebesség	Mszimbs	2 x 74,25	3 x 74,25	2 x 74,25	3 x 74,25
		1 HDSOI	2 HDSOI	1 HDSOI	2 HDSOI

SMPTE 296M (720P)



HD formátumok összefoglalása





SD



HD



4k

Professzionális videótechnika soros interfészei

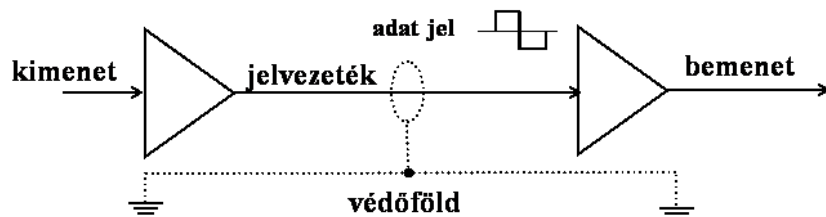
(SDI: Serial Digital Interface)

(HD-SDI: High Definition SDI)

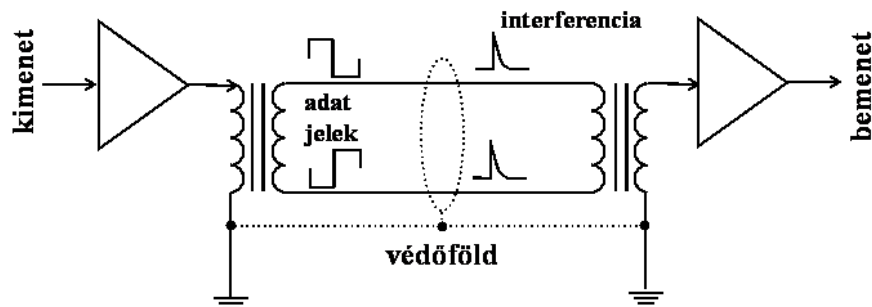
Interfész átvitel jellemzők

- Adatsebesség, szimbólum sebesség:
 - Információs adatsebesség (kbit/s, Mbit/s, Gbit/s)
 - Modulációs szimbólum sebesség (kbaud, Mbaud)
- Szinkronizáció (mintavételi időpontok meghatározása) típusai:
 - **Szinkron mód** (synchronous):
 - Az órajel bekódolva az adatfolyamba
 - Vagy külön vezetéken
 - Aszinkron mód (asynchronous):
 - Adó és vevő órajel frekvencia névlegesen megegyezik
 - Minden adategység start és stop feltétel között
 - Isochronous: egyetlen master szinkronizálja a vevőket

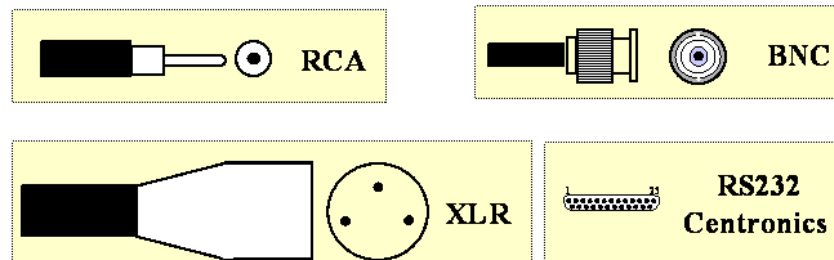
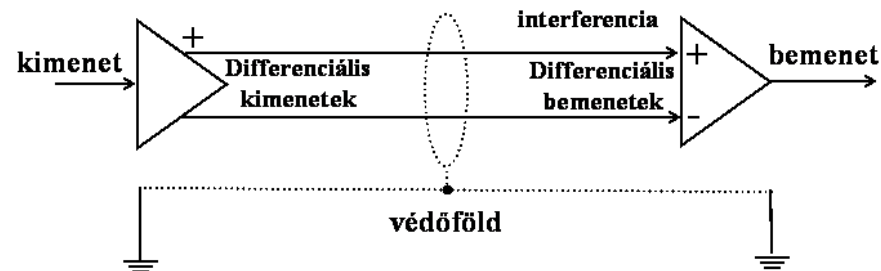
Aszimmetrikus interfész



Transzformátoros szimmetrikus interfész



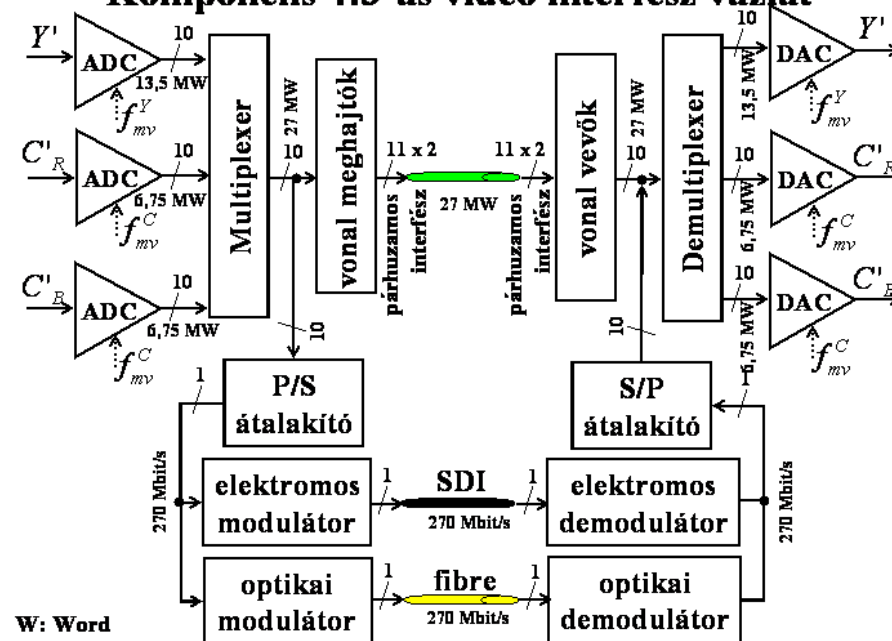
Elektromos szimmetrikus interfész



Digitális interfészek

- Egy interfész specifikált ha a következők ismertek és szabványosak:
 - Csatlakozók: mechanikai specifikáció, lábkiosztás
 - Elektromos specifikáció: időzítés, feszültség szint
 - Átviteli protokoll
- A különböző protokollok azonos mechanikai/elektromos specifikációt gond nélkül használhatnak
- A videótechnikában minden soros interfész azonos elektromos, fizikai és mechanikai felépítéssel rendelkezik

Komponens 4:3-as videó interfész vázlat



Párhuzamos interfész

csatlakozó lábszám	funkció	csatlakozó lábszám	funkció
1.	Órajel (+)	14.	Órajel (-)
2.	Rendszer föld	15.	Rendszer föld
3.	Adat bit 7 (+)	16.	Adat bit 7 (-)
4.	Adat bit 6 (+)	17.	Adat bit 6 (-)
5.	Adat bit 5 (+)	18.	Adat bit 5 (-)
6.	Adat bit 4 (+)	19.	Adat bit 4 (-)
7.	Adat bit 3 (+)	20.	Adat bit 3 (-)
8.	Adat bit 2 (+)	21.	Adat bit 2 (-)
9.	Adat bit 1 (+)	22.	Adat bit 1 (-)
10.	Adat bit 0 (+)	23.	Adat bit 0 (-)
11.	Adat bit -1 (+)	24.	Adat bit -1 (-)
12.	Adat bit -2 (+)	25.	Adat bit -2 (-)
13.	Kábel föld		

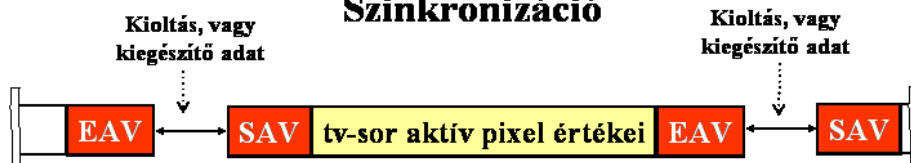


D típusú
ISO 2110-1989

Szinkronizáció

- Az interfész a világosságjel és a színjel mintáit hordozza, multiplexált formában: a demultiplexeléshez szinkron kell
- Mivel az analóg szinkronjelet nem tartalmazza: ezért a vízszintes és a függőleges szinkron is biztosítandó
- A párhuzamos interfészen a komponensek is azonosítandók
- Soros interfészen ezenkívül a multiplexelés, mintaszinkron és a bitszinkron is biztosítandó
- Erre a célra speciális felépítésű időreferencia és azonosító jeleket (TRS-ID: Timing Reference Signal ID) használunk
 - EAV (End of Active Video) és SAV (Start of Active Video)**

Szinkronizáció



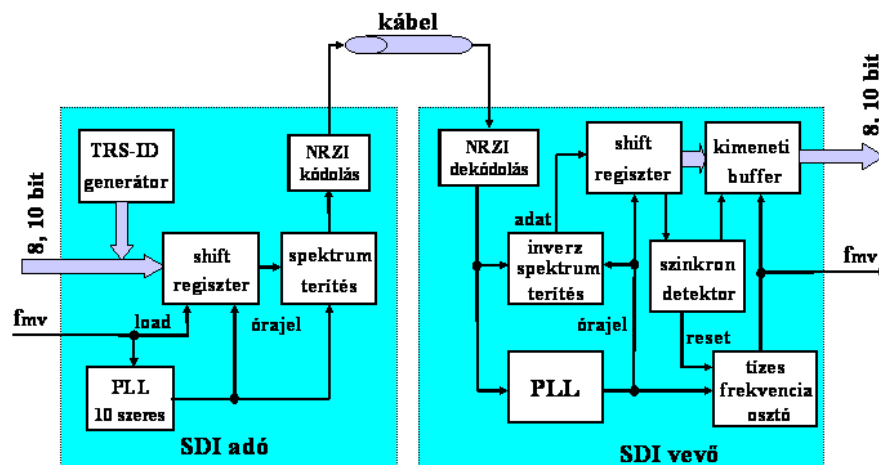
- A szinkronszó négy szavas
- Az első három szó az időzítési referencia szinkron
- A 4. szó azonosítási célokat szolgál

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
1. szó	„1”	„1”	„1”	„1”	„1”	„1”	„1”	„1”
2. szó	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”
3. szó	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”	„0”
4. szó	„1”	F	V	H	P3	P2	P1	P0
Jelentés		páros/ páratlan	félkép kioltás	SAV / EAV				

Soros Digitális Interfész (SDI)

- Soros interfészről beszélünk, ha az egyetlen vonalból áll és ezen visszük át az egymást követő adatszavak meghatározott sorrendű bitjeit
- Többfajta SDI klón létezett
- A kompatibilitási problémákat az EBU és az SMPTE szabványa (**SMPTE 259M**) szüntette meg, amely:
 - definiálta az átviteli mechanizmust
 - a kiegészítő adatok átvitelét
 - meghatározott sorok biztosítják a jelek kapcsolásához és a hibadetektáláshoz szükséges információkat

A SDI adó és vevő funkcionális felépítése



SDI elektromos specifikáció

SDI adó paraméterei:

- aszimmetrikus (koax) kimenet
- kimeneti impedancia: $75\ \Omega$
- jel-amplitúdó: $800\text{ mV} \pm 10\%$ csúctól csúcsig 75Ω -on
- fel-, lefutási idők: $0,75\text{-}1,50\text{ ns}$, a 20 és a 80%-os pontokon

SDI vevő paraméterei:

- bemeneti impedancia: $75\ \Omega$
- kezelni kell tudni a legnagyobb megengedett és a 40 dB -el csillapított jelet is
- A kábel koaxiális, 500 MHz -ig használható, névleges hullámimpedanciája 75Ω , BNC csatlakozóval szerelve

SD SDI verziók

270 Mbit/s-os verzió

- BT.656 és SMPTE 259M specifikálja
- 4:3-as képméretarány
- 27 MHz -es alap órajel mellett

360 Mbit/s-os verzió

- BT.1302 specifikálja
- 16:9-es képméretarány
- 36 MHz -es alap órajel mellett

540 Mbit/s-os verzió (csak az USA-ban)

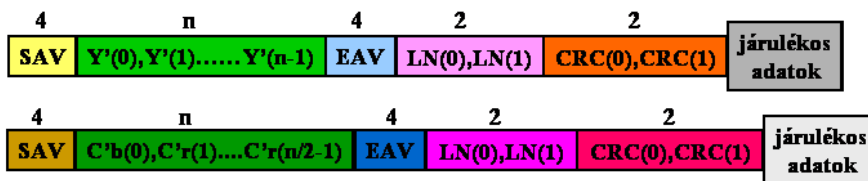
- SMPTE 344M specifikálja
- 4:3-as képméretarányú progresszív videóra
- $2 \times 27\text{ MHz}$ -es, vagy egy 54 MHz -es alap órajel mellett

SD digitális interfész szabványok

Aktív képméret (H×V)	Teljes képméret (H×V)	A:R	Kép freki (Hz)	Y mintavétel (MHz)	Digitális soros interfész
720×480	858×525i	4:3	29,97	13,5	BT.656 BT.799
720×480	858×525p	4:3	59,94	27	BT.1362 SMPTE 294M
720×576	864×625i	4:3	25	13,5	BT.656 BT.799
720×576	864×625p	4:3	50	27	BT.1362
960×480	1144×525i	16:9	29,97	18	BT.1302/03
960×576	1152×625i	16:9	25	18	BT.1302/03

HD SDI

- BT.1120 és az SMPTE 292M specifikálja, AR=16:9
- Az Y' és a C'_R/C'_B 74,25 MHz-es párhuzamos adatfolyamok multiplexált soros adatfolyama
- Az interfész alap órajele $20 \times 74,25$ MHz
- Az Y' és a C'_R/C'_B adatfolyamokat külön-külön az SDI-nak megfelelően el kell látni az SAV és az EAV kódokkal
- A két adatfolyamhoz az EAV kód után el kell helyezni a sorszám (LN) és az ellenőrző összeg (CRC) két-két szavát



- A két adatfolyamot multiplexáljuk
- Az Y' és a C'_R, C'_B minták száma formátum függő
- Multiplexálás után a párhuzamos adatfolyamot sorossá alakítjuk
- A soros bitfolyam ál-véletlenné tétele, amit az NRZI csatornakódolás követ (mint az SDI-nál)
- HD-SDI: koaxiális vagy optikai összeköttetés
- Koaxiális esetben a kábel 75Ω -os, a csatlakozó BNC, vevőoldali kiegyenlítéssel 100 m távolságig használható
- Az optikai átvitel egymódusú üvegszálon max. 2 km-ig