

VIDEOTECHNIKA

Előadásvázlat

Mócsai Tamás

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások

Tanszék

2015



Analóg interfészek alapvető típusai

- Kompozit (CVBS) [SDTV]
 - Alapsávi világosságjel + NTSC vagy PAL modulált színsegédvívó egy érpáron
 - Konzumer eszközökön RCA, professzionális eszközökön BNC csatlakozó
 - Mindenfajta feldolgozás esetén a világosságjelet és a színjelet szét kell választani, ez folyamatos minőségromlást okoz
- S-Video [SDTV]
 - Világosságjel és az NTSC vagy PAL modulált színsegédvívó egy-egy külön érpáron
 - A modulált színjel sávszélessége nagyobb, mint a CVBS esetében
 - Nincs szétválasztás, nincs minőségromlás
 - Konzumer eszközökön RCA, professzionális eszközökön BNC csatlakozó, vagy speciális 7-tűs S-video csatlakozó

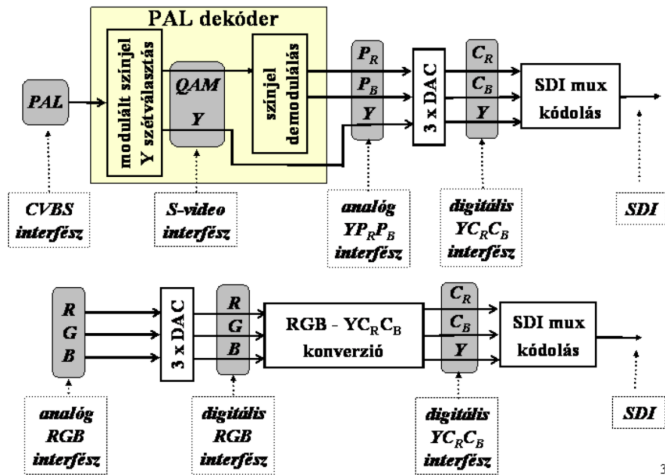


Analóg interfészek alapvető típusai

- Komponens [akár HDTV]
 - RGB, vagy YPbPr komponensek külön érpárokon
 - Konzumer eszközökön RCA, professzionális eszközökön BNC csatlakozó



Alapvető SDTV interfészek származtatása



- 21 tűs fogyasztói interfész
- Lehetővé teszi egyetlen kábelköteg alkalmazásával analóg RGB, S-Video, CVBS, és sztereó hang továbbítását két berendezés között
- Többféle szabványosított lábkiosztás létezik (csak CVBS + hang, CVBS + RGB + hang, CVBS + S-Video + hang)
- A CVBS és a sztereó hang mindkét irányban átvihető a két berendezés között, az RGB, illetve S-Video átvitel egyirányú
- A szinkronjeleket a CVBS jelek hordozzák, ezért a CVBS jel átvitelére mindig szükség van
- Külön vezérlő jel (8-as tű) van üzemmódválasztásra, a jel DC feszültség szintjével jelezhető a TV-mód, AV-mód, 16:9-es mód
- A video ki- és bemenetek impedanciája 75 Ohm



SD és HD komponens interfészek

Analóg interfészek

- 3 RCA, vagy 3 BNC csatlakozású kábeles átvitel
- A ki- és bemeneti impedancia 75 Ohm
- A vevő oldali bemenet AC csatolt
- RGB 700 mVpp, max +/- 1 V DC
- YPbPr 700 mVpp, max +/- 1 V DC
- 300 mV -os szinkronjelszint (tri-sync HD esetben)
- Az alapszínjelek időeltérésének +/- 5 ns-on belül kell lennie
- RGB esetben a szinkronjel a G jelre van ültetve általában, de rajta lehet mindhárom komponensen is. A szinkronjel általában összetett (H/V), de lehet külön érpáron is a H- illetve V szinkronjel.
- YPbPr esetben az összetett szinkronjel az Y jelre van ültetve



Bevezetés, történeti áttekintés

- 1970- : A digitális eszközök kezdetben az analóg stúdiókban csak digitális "szigetként" voltak jelen (minden "sziget" külön A/D-D/A átalakítást igényelt)
- 1982: CCIR 601 (ma ITU-601)-es első digitális kódolási szabvány
- 1986: Ennek első interfész szabványa a CCIR 656 (ma ITU-656) ajánlás, mely a világosság és színjel multiplexelésére, a szinkronizációra, a kioltási időszakokra, valamint az elektromos és mechanikai interfész jellemzőkre vonatkozó előírásokat tartalmazza, **mind soros, mind párhuzamos átvitelre.**



Párhuzamos interfész

– Előnyök

- Adóoldali meghajtó mintavételi frekvencián hajtja meg a többeres kábelt, órajelet szolgáltat, mely az erre szolgáló külön vezetéken továbbításra kerül
- Olcsó, kis sebességű áramkörök
- Elvileg könnyen növelhető a bitszám (újabb vezetékek, ill. csatlakozási pontok)

– Hátrányok

- A többeres kábelcsatlakozó nagy, nehéz, általában merev, és nagy távolság esetén a kábel drága lesz
- A többeres kábelen az adatvonalak egyidejűsége nehezen biztosítható (pl. egyik ér még stabil, másik már tranzienst állapotban van az órajel referenciapontjához képest)
- Az egyes-kábelerek között áthallás alakulhat ki
- Párhuzamos vonalak kapcsolása (switching) megvalósítása bonyolult
- Viszonylag kis áthidalható távolság



Gyakorlatilag a párhuzamos interfész bitjeinek multiplexálása egyetlen bitfolyammá

– Előnyök

- Nincsenek terjedési késleltetés-különbségek
- Kábel "megtakarítás"
- Nagyobb áthidalható távolság
- Egy-vonalas kapcsolás (switching) könnyen megoldható

– Hátrányok

- Nagy sebességű áramkörökre (pl. multiplexer) van szükség, nagyobb a jel sávszélessége (koax kábel szükséges)
- PLL alapú órajelkinyerésre van szükség a vevőoldalon



Párhuzamos és soros interfészek

Közös tulajdonságok

- ITU-656: Interfaces for digital component video signals in 525/656 line TV systems operating at 4:2:2 Level of Rec. ITU-601
- Egy interfész egy egyirányú összeköttetést definiál
- A soros és párhuzamos interfész adatformátuma azonos
- Az interfészek adatjelei 8 vagy 10 bitesek (ITU-601), 8 bites esetben az alsó két LSB bit nulla
- A jel állhat: hasznos videójelből / Időzítő jelből (TRS) / egyéb kiegészítő adatjelek (ANC), pl. audio

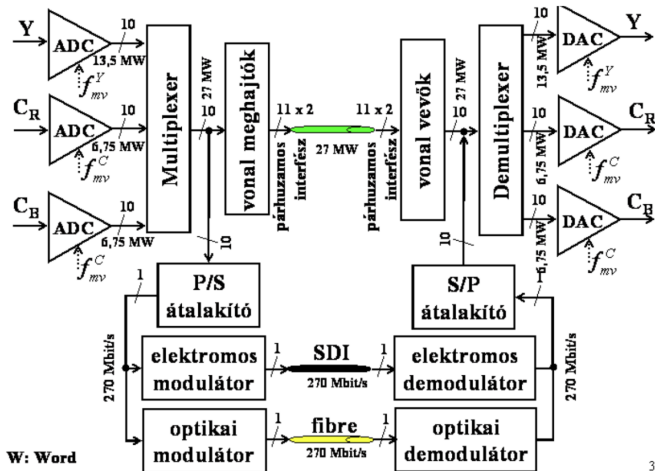


Párhuzamos interfész tulajdonságok

- Azonos a komponens és kompozit jelformátumra (kompozit interfésszel nem foglalkozunk)
- Minden egyes jelet szimmetrikus vonal-páron, 110 Ohm impedancián, ECL szinten visznek át (0.8 - 2 Vpp)
- 11 érpár: 10 adat + 1 órajel
- Órajel frekvencia: 27 MHz (vagy 36 MHz, vagy színsegédvívő 4x-ese, ezekkel nem foglalkozunk), kódolás : NRZ, az órajel referenciapontja: felfutó él
- Max. kábelhossz 50m, kiegyenlítéssel 150m
- 25 pólusú szabványos aljzat
- 4:3-as és 16:9-es képarányú interfész (az SD 16:9-es képarányú interfésszel nem foglalkozunk)



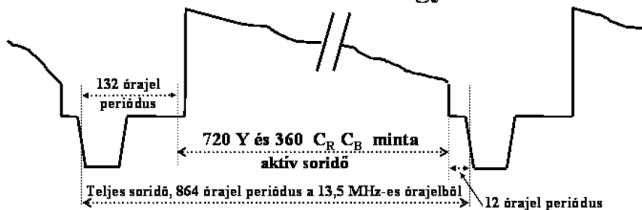
Komponens párhuzamos interfész



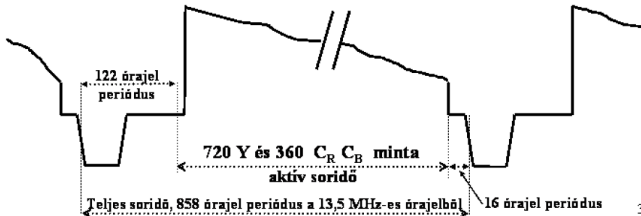


SD TV-sor időzítés

A 625 soros 4:3-as rendszer egy aktív tv-sora



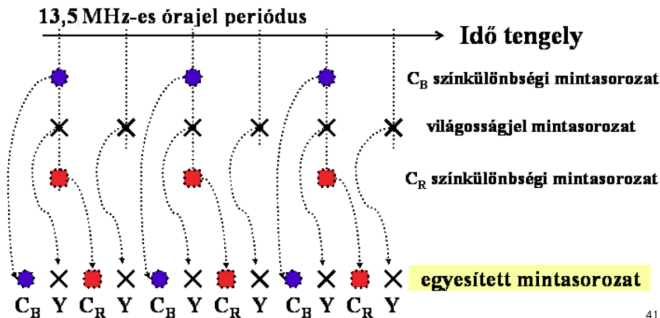
Az 525 soros 4:3-as rendszer egy aktív tv-sor



Párhuzamos adatfolyam multiplex

YCbCr komponensek multiplexálása

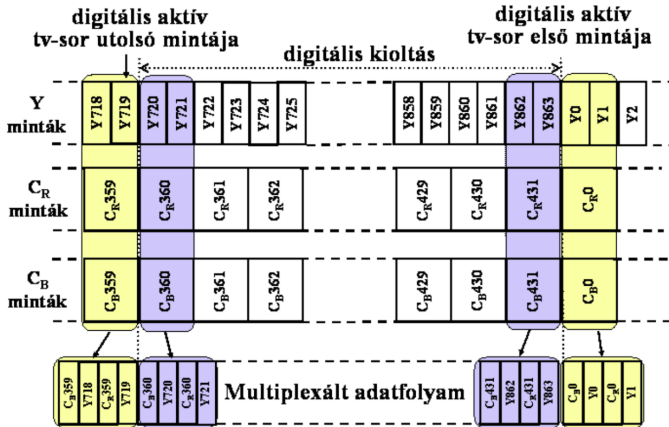
- Először a két színkülönbségi mintasorozatból létrehozunk egy 13.5 MHz-es adatfolyamot, ezután
- ezt multiplexáljuk a világosságjel 13.5 MHz-es mintasorozatával





Párhuzamos adatfolyam multiplex

Multiplexálás eredménye





Szinkronizáció célja

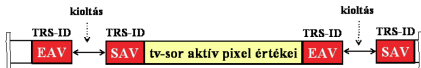
- A digitális interfészek a szinkronjelet nem digitalizálják, ezért a demultiplexáláshoz a szinkron biztosítandó
- Párhuzamos interfészen szükség van a komponensek azonosítására (Cr/Cb) is
- Soros interfészen ezenkívül a mintaszinkron, és bitszinkron is biztosítandó



Interfész szinkronizáció (TRS-ID)

SAV / EAV

- A TRS-ID a multiplexálás alapegységéből, tehát négy szóból áll (a 4 szó: Cb Y Cr Y minta egység)
- Az első három szó az időzítrési referencia (TRS)
- A negyedik szó azonosítási célokat (ID) szolgál



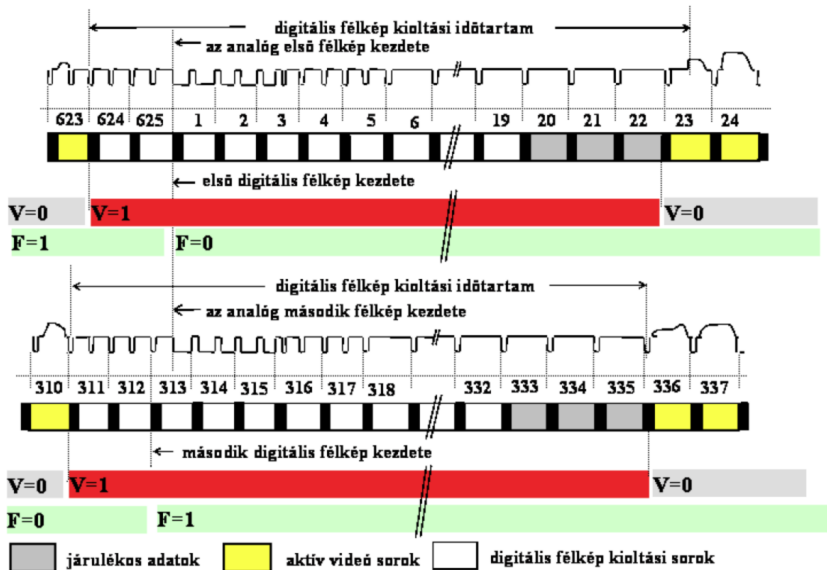
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1. szó	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
2. szó	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
3. szó	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
4. szó	"1"	F	V	H	P3	P2	P1	P0
jelentés		páros/ páratlan	félkép kioltás	SAV/ EAV	V <u>XOR</u> H	F <u>XOR</u> H	F <u>XOR</u> V	F <u>XOR</u> V <u>XOR</u> H



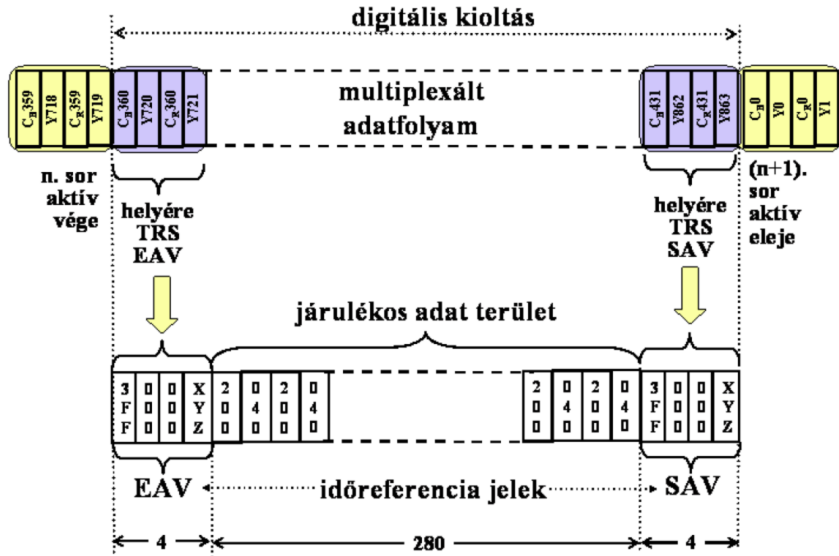
Bitek jelentése

- Az első félképben az F (field) bit 0, a második félképben 1
- A váltott soros rendszerekben a második félkép a sor közepén kezdődik, itt nincs SAV szinkronszó, a félkép jelző bitet a sor végén lévő EAV-ban lehet csak megváltoztatni
- A V (vertical blanking) bit 1 értéke jelzi, hogy az adott sor a félképkioltáshoz tartozik
- A H (horizontal blanking) bit különbözteti meg az EAV-t az SAV-tól (tehát a sorkioltást jelzi):
 - SAV esetén H bit 0 értékű
 - EAV esetén H bit 1 értékű
- A hibavédelem két hiba jelzésére, és egy hiba javítására képes
- Az EU rendszerben az első félkép 20-22. sora, a második félkép 333-335. sora használható járulékos adat átvitelére (ANC)

SAV/EAV az EU SD rendszer esetén



SAV/EAV beültetés (EU SD)





Serial Digital Interface (SDI)

Alapvető tulajdonságok, elvárások

- Az SD/HD komponens formátumok interfészeinek elektromos és mechanikus jellemzői megegyeznek
- Pont-pont közötti átvitelre használható, legnagyobb előnye a nagy áthidalható távolság (akár 300m)
- Elektromos jelformátum elvárások:
 - A vevőnek a megfelelő pontosságú órajelet az adatfolyamból elő kell tudnia állítani: **a jel hordozza az órajelet**
 - A mintavételi frekvencia által meghatározott sávszélesség mellett a lehető **legkisebb sávszélességű jelfolyam** kell
 - A videojel mintái nagymértékben korreláltak, a szomszédos minták csak kismértékben különböznek egymástól, az ebből adódóan jelentős a kisfrekvenciás, illetve DC tartalom: **egyenletes spektrális eloszlású jelfolyam kell**
- Ellentmondó követelmények !



Serial Digital Interface (SDI)

Megvalósítás - spektrumterítés

- A párhuzamos/soros átalakítás során a soros interfész órajel frekvenciája 10x-es frekvenciájú
- Ha a minták 8 bitesek, az alsó két bit nulla
- A párhuzamos-soros átalakítást spektrumterítés követi:
 - A videotartalom korreláltságától függetlenül egyenletes spektrum kialakítása a cél
 - A spektrumterítés az adatfolyam ál-véletlenné tételével történik: ál-véletlen bitszekvenciával (generátor polinom) történő keveréssel (XOR) hajtható végre
 - Az egyenletes spektrum lehetővé teszi a nemideális átviteli karakterisztika (pl. hosszú kábel) kiegyenlítését is, mivel az egyenletes spektrum csak a kábel csillapítás/átviteli karakterisztika egyenetlenség hatására változhat meg



Serial Digital Interface (SDI)

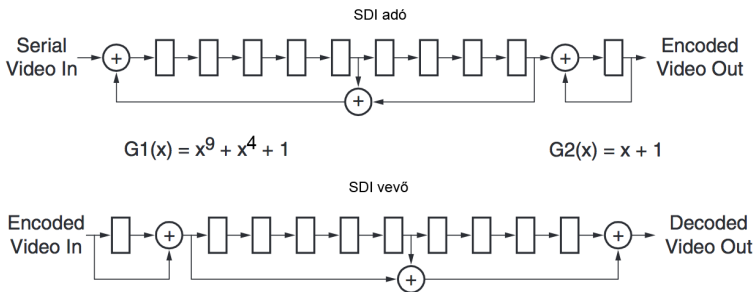
Megvalósítás és órajelkinyerés

- A vevő oldalon az álvéletlen generátor polinommal való inverz spektrumterítést végre kell hajtani, ennek legegyszerűbb módja, ha a generátor polinom fix (nem kell átvinni)
- Az SDI önszinkronizáló kódolást alkalmaz: a generátor polinom indítási állapotát/időpontját nem kell definiálni/jelezni
- Az SDI generátor polinomja $G(x) = x^9 + x^4 + 1$, az LFSR összekapcsolási polinomja $Q(x) = x^9 + x^5 + 1$
- NRZI kódolás (Non Return To Zero Inverted), generátor polinomja: $G(x) = x + 1$ ($Q(x) = x + 1$) (NRZI kód: 1-es bemenet esetén átmenet, 0-ás bemenet esetén nincs változás a kimeneten)



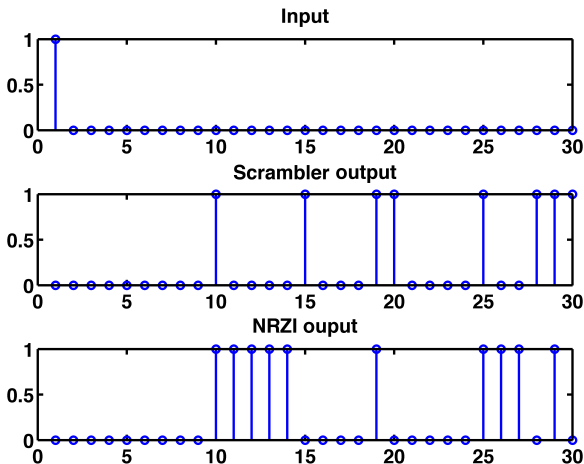
Serial Digital Interface (SDI)

Megvalósítás és órajelkinyerés



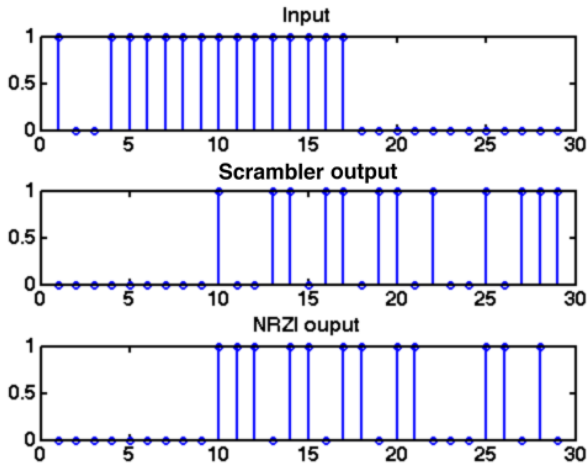
Serial Digital Interface (SDI)

Példa 1.



Serial Digital Interface (SDI)

Példa 2.



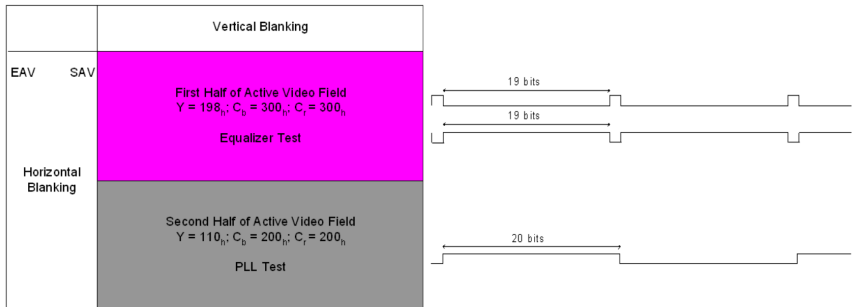


Patologikus mintasorozatok

- A spektrumterítés és NRZI kódolás ellenére is lehetnek olyan bemeneti mintasorozatok, melyek az SDI kódoló kimenetén hosszú egymást követő 0 vagy 1 sorozatokat (kisfrekvenciás tartalom) tartalmaznak.
- Ezek előfordulási esélye rendkívül minimális. Mivel ilyen sorozatok esetében a vevő PLL órajelkinyerő képessége elérheti a működési határát, ilyen sorozatokat műszerekkel, illetve tesztábra generátorokkal hoznak létre.

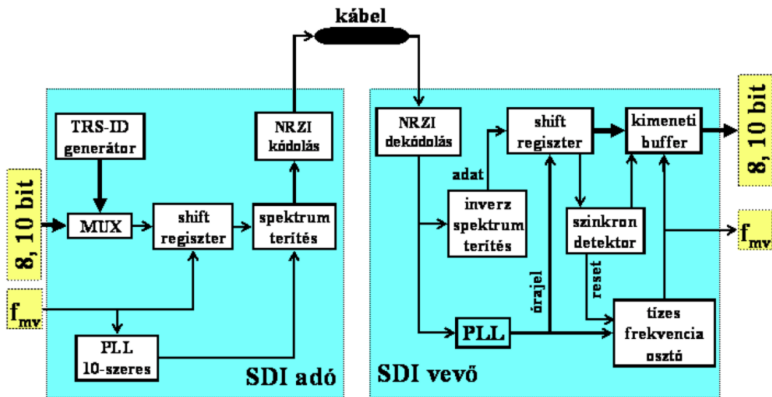


SMPTE Checkfield ábra





SDI adó-vevő blokkvázlat





Serial Digital Interface (SDI)

Elektromos paraméterek

- Aszimmetrikus jelvezetés
- Koaxiális kábel, BNC csatlakozóval szerelve, 500 MHz névleges sávszélességgel
- Be- és kimeneti impedancia 75 Ohm
- Amplitúdó: 800 mVpp +/- 10%

SD SDI szabványok

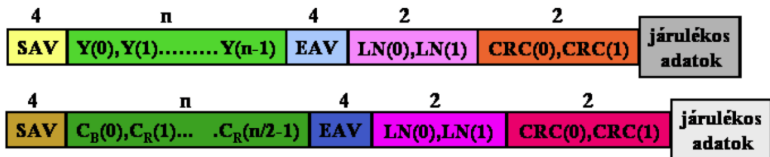
- **270 Mbit/s (27 MHz órajel, 4:3 képarány): ITU-656, SMPTE 259M**
- 360 Mbit/s (36 MHz órajel, 16:9 képarány): ITU-1302
- 540 Mbit/s (54 MHz órajel, 4:3 képarány, progresszív), SMPTE 344M
- Kompozit NTSC/PAL változatok...

HD-SDI 1.485 Gbit/s

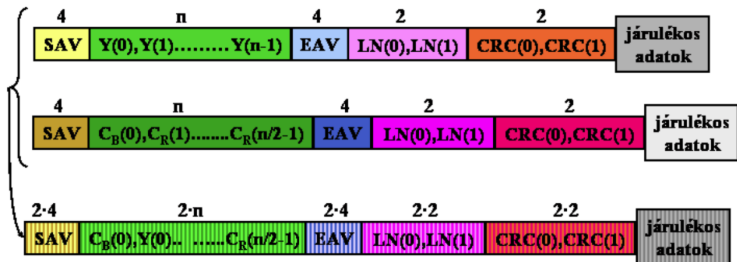
- Az Y és a Cr/Cb 74.25 MHz -es párhuzamos minták multiplexált adatfolyama
- Az interfész órajele 20×74.25 MHz
- Két logikai adatfolyam az Y és a Cr/Cb komponensekre
- Mindkét logikai adatfolyam rendelkezik SAV / EAV kódokkal
- Mindkét adatfolyamban az EAV után sorazonosítás (LN) és CRC kód is van
- A CRC kód generátor polinomja: $G(x) = x^{18} + x^5 + x^4 + 1$
- Az YCbCr minták száma formátumfüggő
- A spektrumterítés/NRZI kódolás megegyezik az SD SDI módszerével
- Vevő oldali kiegyenlítés esetén 100m az áthidalható távolság

HD-SDI

HD-SDI 1.485 Gbit/s



Multiplexálás után:





Dual HD-SDI

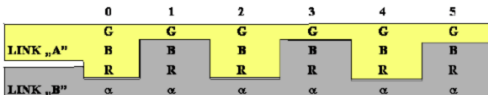
- Azon formátumokra, melyek adatsebessége nem fér bele a HD-SDI 1.485 Gbit/s adatsebességébe
- Két párhuzamos HD-SDI összeköttetés (két koax kábel)
- Max. adatsebesség: 2.97 Gbit/s



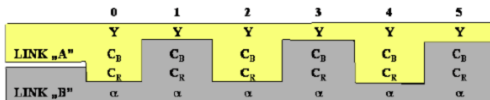
Dual HD-SDI

komponensek	formátum	bitszám / minta	kép/félkép frekvencia
$YC_B C_R$	4:2:2, 4:4:4	10	60p, 50p
$YC_B C_R$	4:2:2, 4:4:4	12	30p; 25p; 24p; 60i; 50i
RGB	4:4:4	10,12	30p; 25p; 24p; 60i; 50i
$YC_B C_R + \alpha$	4:4:4:4	10	30p; 25p; 24p; 60i; 50i
RGB + α	4:4:4:4	10	30p; 25p; 24p; 60i; 50i

RGB módban



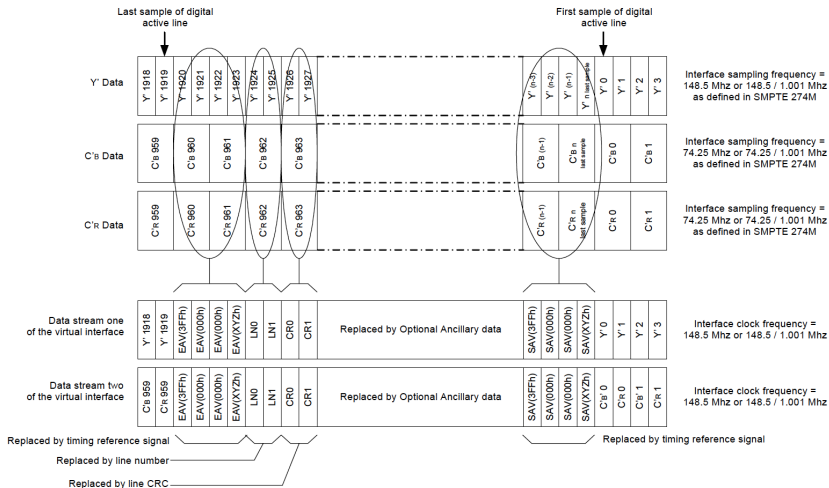
$YC_B C_R$ módban



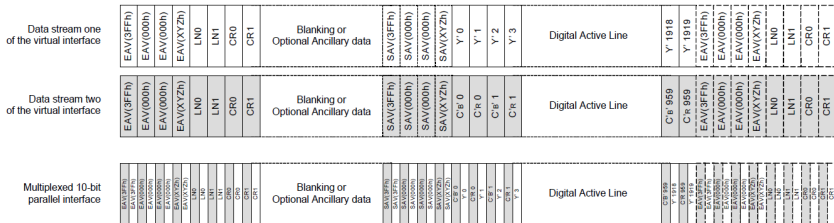


- Azon formátumokra, melyek adatsebessége nem fér bele a HD-SDI 1.485 Gbit/s adatsebességébe
- Egy fizikai kábelben történő 2x1.485 Gbit/s összeköttetés, vagyis a dual HD-SDI jel átvitele egy koax (vagy optikai) kábelben
- A HD-SDI-hez hasonlóan két logikai adatfolyam. Mindkét logikai adatfolyam soros interfész sebessége 10x148.5 MHz.
- A két logikai adatfolyam átszövésének módja megegyezik a HD-SDI-nél alkalmazott átszövéssel

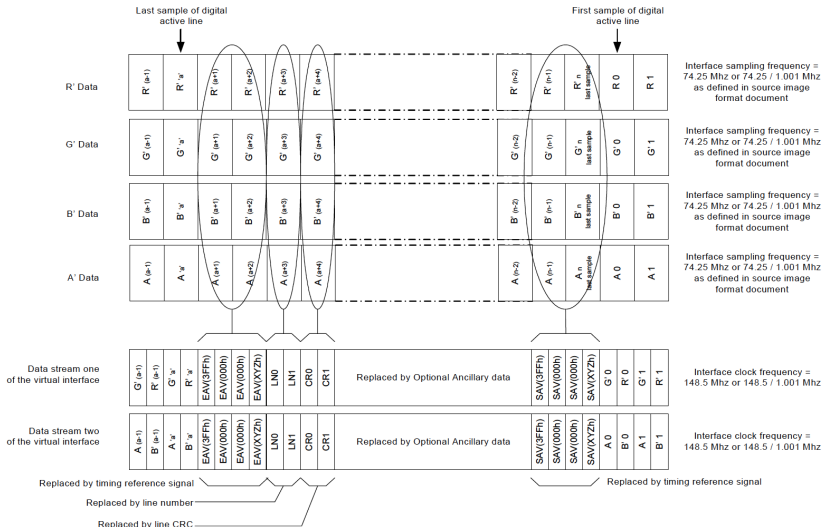
3G-SDI: 1080p50/60 módok



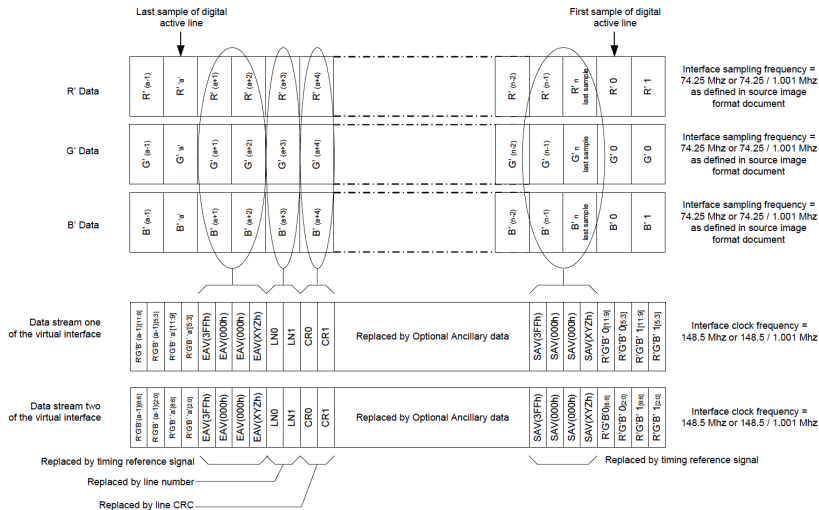
3G-SDI: 1080p50/60 multiplex



3G-SDI: RGB + A mód



3G-SDI: 12 bites RGB mód



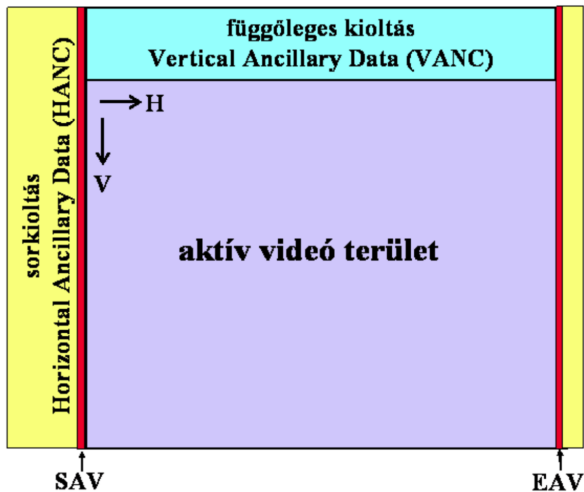


Kiegészítő adatok (ANC) az SDI adatfolyamban

- A teljes vízszintes és függőleges kioltási idő rendelkezésre áll, a szinkronizációt biztosító SAV, EAV kódszavak idejének kivételével
- Ez alapján kétfajta járulékos adattípus lehetséges:
 - Vízszintes járulékos (HANC: Horizontal Ancillary Data) adatok
 - Függőleges járulékos (VANC: Vertical Ancillary Data) adatok
- A HANC 10 bites, míg a VANC 8 bites
- Legfontosabb alkalmazás: beágyazott audio átvitele

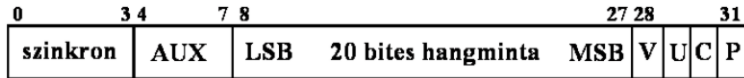


HANC / VANC struktúra

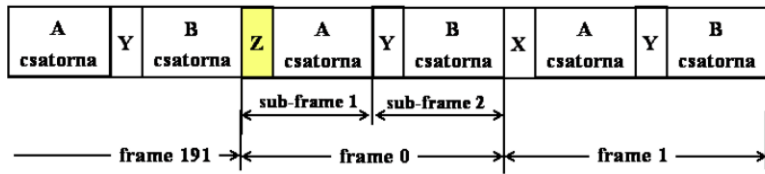




AES/EBU beágyazott audio



Teljes keret felépítés:



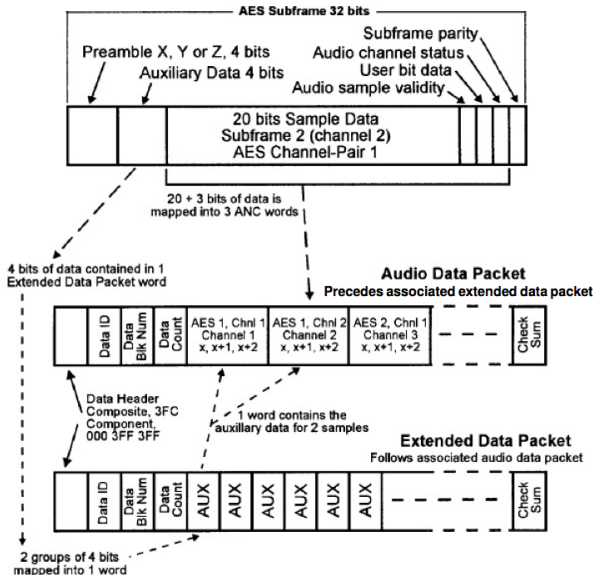


AES/EBU beágyazott audio

- 20 vagy 24 bites bitmélység, NRZI csatornakódolás
- Az SDI interfész nagy órajelfrekvenciája lehetővé teszi akár 16 beágyazott hangcsatorna átvitelét is
- Támogatott audio mintavételi frekvenciák: 48, 44.1 és 32 kHz
- AES/EBU formátum alapegysége a 32 bites subframe
- Az alkeret kezdetét speciális szinkronkód jelzi, mely megsérti a kódolási szabályt
- A szinkronkód háromféle lehet: 1. csatorna jelzése, 2. csatorna jelzése, 3. Channel Status Block kezdetének jelzése.
- 20 bites minták esetén a 4-7 bitek egyéb információt hordoznak (pl. 1/3 mintavételi frekvenciájú utasító, kommentátor audio csatorna átvitelére)
- 24 bites mintáknál a 4-7 bit is a mintákhoz tartozik
- Minták sorrendje: MSB ... LSB
- Validity, User Data, Channel Status Bit, Parity (nem részletezzük)



AES/EBU beágyazott audio

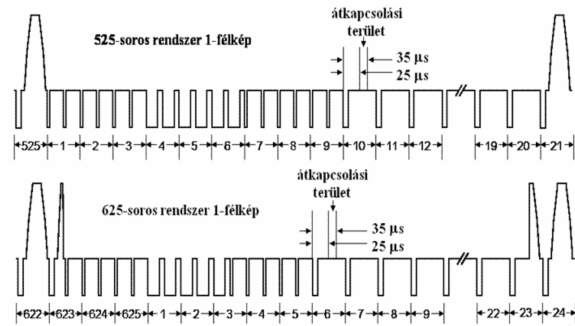




Digitális SDI átkapcsolás

- Az SDI jel, mivel nem párhuzamos formátum, könnyen kapcsolható
- Annak érdekében, hogy a kapcsolási tranziensek ne a szinkron időtartamra essenek, a következő átkapcsolási időintervallumokat definiálták:

SD SDI átkapcsolási tartományok





SDI hibadetekció, optimális méretezés

- Ha egy digitális rendszer (SDI) a hibahatáron dolgozik, még akkor sincs semmi látható nyoma ennek a képen
- A képminőség jóságából nem lehet következtetni arra, hogy a rendszer milyen tartalékkal dolgozik
- Adó oldali követelmény : min. 40 dB SNR a kimeneten
- Vevő oldalon: min. 20 dB SNR a bemeneten
- SDI tűrőképesség teszt: megnövelni a kábelhosszt - csillapítja a jelet, a kiegyenlítő áramkör visszaerősíti (de a zajjal együtt), így az SNR romlik

SDI hibadetekció, optimális méretezés

Két hiba közötti átlagos idő különböző bithibaarány (BER) értékek esetén (szimulációs eredmények)

Két hiba közötti átlagos idő	270Mbit/s (EU)
1 tv-kép	$\approx 1 \cdot 10^{-7}$
1 másodperc	$\approx 4 \cdot 10^{-9}$
1 perc	$\approx 6,7 \cdot 10^{-11}$
1 óra	$\approx 1,1 \cdot 10^{-12}$
1 nap	$\approx 4,6 \cdot 10^{-14}$
1 hónap	$\approx 1,5 \cdot 10^{-15}$
1 év	$\approx 1,3 \cdot 10^{-16}$
100 év	$\approx 1,3 \cdot 10^{-18}$

SDI hibadetekció, optimális méretezés

Kábelhossz, BER, és kábelcsillapítás összefüggései

Két hiba közötti átlagos idő	BER	Kábelhossz	Csillapítás fél-órajel frekvencián
1 tv-kép	$\approx 1 \cdot 10^{-7}$	400 m	30,0 dB
1 másodperc	$\approx 4 \cdot 10^{-9}$	387 m	29,0 dB
1 perc	$\approx 6,7 \cdot 10^{-11}$	374 m	28,1 dB
1 nap	$\approx 4,6 \cdot 10^{-14}$	356 m	26,7 dB
1 hónap	$\approx 1,5 \cdot 10^{-15}$	350 m	26,2 dB
100 év	$\approx 1,3 \cdot 10^{-18}$	320 m	25,3 dB

146

- 4.7 dB SNR növekmény hatására a BER 1 hiba/kép -ről 1 hiba/évszázadra növekszik
- Ökölszabály: Egy koax kábel max. hossza (SDI célra) annyi lehet, amelynél a kábel okozott csillapítás az órajel frekvencia felén nem haladja meg a 30 dB-t (HD-SDI esetén 20 dB-t)



SDI hibadetekció, optimális méretezés

- Éles könyökpont van a kábelhossz és a BER összefüggések között
- Pl. a határpontnál 18 méterrel (5%) hosszabb kábel teljesen megszüntetheti az átvitelt
- Mérnöki gyakorlat szerint kb. 6 dB SNR tartalékot kell biztosítani a kábelhossz optimális méretezésével (a fél órajel frekvencián előírt maximális csillapításhoz képest)

SDI hibadetekció, optimális méretezés

BER mérése

- Az álvéletlenné tett SDI bitfolyamban egy bithiba a vevő oldalon az inverz-spektrumterítés után 2 szóban okoz hibát.
- Már képenként egy bithiba is észrevehető lehet
- A megfelelő tartalékkal tervezett rendszer esetén nem lehetséges a BER közvetlen mérése
- Ha az 1 hiba/képhez képesti SNR tartalék 6 dB (optimális méretezés), akkor a hibagyakoriság kevesebb, mint 1 hiba 100 évenként, tehát ez valóban nem mérhető

CRC ellenőrzés

- Érdemes az aktív tartalom (sor), illetve a teljes képtartalomra (kép/félkép) külön hibaellenőrző kódot generálni
- BER mérés helyett CRC ellenőrzés : meghatározhatók a hibás másodperc intervallumok, amely hasznosabb mérőszám, mint a BER.
- Az SD-SDI -ben az 525 soros rendszerben (USA) a 9. és 270. sorban, a 625 soros rendszerben (EU) az 5. és 318. sorban van lehetőség EDH (Error Detection and Handling) 16 bites CRC kód elhelyezésére. A HD-SDI-ben szabvány szinten benne van a CRC.



SDI jel optikai átvitele

- A HD-SDI interfész igen nagy sávszélességet igényel a koax kábelre nézve, amelyet csak a legjobb minőségű koax kábelek teljesítenek.
- A HD-SDI, illetve a Dual-HD-SDI átvitelre célszerűbb az egymódusú száloptikás optikai interfész használata (akár 2 km áthidalható távolság).
- Az SMPTE mind az SD-SDI, mind a HD-SDI optikai interfészt definiálta, a multiplexálás, illetve a csatornakódolás megegyezik az koaxiális változat eljárásaival (részletekre nem térünk ki).



DVI interfész

- Tömörítetlen digitális interfész, elsősorban video forrás eszközök és megjelenítő eszközök közötti átvitelre
- Főbb tulajdonságok:
 - Támogatja a HDCP-t (High Bandwidth Digital Content Protection), az interfészen átvitt jelek jogosulatlan másolásának kivédésére (2001-ben feltörték, nem részletezzük)
 - Támogatja a VESA EDID (Extended Display Identification Data) és Display Data Channel (DDC) szabványokat, mely lehetővé teszi az automatikus kijelző detektálást és konfigurálást
- Csatlakozótípusok: DVI-D (digitális), DVI-A (csak analóg), DVI-I (digitális és analóg)
- Az analóg DVI interfésszel külön nem foglalkozunk
- **Digitális csatornakódolás: TMDS (Transition Minimized Differential Signalling)**



VESA EDID információ

- Külön erre a célra szolgáló tűn, soros I^2C buszon kerül átvitelre.
 - Gyártó neve, Termék kód, gyártási idő, stb ...
 - Analóg átvitel esetén: fehér, fekete, és referencia szintek, szinkron jel helye (H/V kompozit, vagy G jel)
 - Maximális fizikai képméret (centiméterben)
 - Megjelenítő gamma értéke
 - Támogatott komponens formátumok (RGB 4:4:4 YCrCb 4:4:4 YCrCb 4:2:2)
 - RGB CIE xy alapszínek és a fehérpont koordinátái
 - Maximális képfrekvencia, és sorfrekvencia
 - Aktív sor és pixelszám, kioltási sor és pixelszám, szinkronpulzusok ideje és hossza
 - Maximális pixel órajel
 - Támogatott felbontások (natív mód külön jelezve), és képrfrissítés kombinációk
 - Támogatott audio formátum (mintavételi frekvencia, csatornaszám, bitmélység, kódolás: PCM, AC-3, MP3, stb...)



Transition-Minimized Differential Signalling

- **A TMDS csatornakódolás a 8 bites adatot minimális számú átmenetet tartalmazó, DC-mentes 10 bites kóddá alakítja**
- Célja a sodort érpárok közötti interferencia csökkentése
- A TMDS soros átvitelt valósít meg az így létrehozott 10 bites kódokkal
- A vevő párhuzamossá alakítja a soros adatot, majd visszakódolja 8 bites adattá
- A 8 bites adat tipikusan egy video komponens, tehát az RGB, illetve YCbCR komponensek átviteléhez három TMDS csatornára van szükség.
- A három TMDS csatorna alkot egy TMDS linket
- A DVI összeköttetésben a video adatsebességétől függően egy vagy kettő egyidejű TMDS link használható (single- vagy dual DVI)



TMDS algoritmus

- A kódolás két egymás utáni feldolgozási lépést tartalmaz, melyben a bemenő 8 bithez 10 kimeneti bitet generálunk
 - Első lépésben a kódoló a 8 bemenő bitből az LSB bitet változatlanul hagyja, míg a maradék 7 bitet egyenként az öt megelőző, már kódolt bittel XOR, vagy NXOR (ekvivalencia) kapcsolatba hozza
 - A kódoló a XOR, vagy NXOR kapcsolat közül aszerint választ, hogy melyik eredményez kevesebb átmenetet tartalmazó kódot (ezzel ekvivalens, hogy ha az eredeti 8 bites kódban az egyesek száma nagyobb mint a nullák száma, akkor NXOR, ellenkező esetben XOR kapcsolatot választ). Ha az átmenetek száma, illetve a paritás megegyezik a XOR, ill. NXOR esetében, akkor az LSB 1 értéke esetén XOR, LSB 0 értéke esetén NXOR kapcsolatot választja.
 - A 9. bittel a kódoló azt jelzi, hogy a XOR, vagy az NXOR kapcsolatot választotta ($XOR = 1$, $NXOR = 0$)
 - Második lépésben a kódoló attól függően invertálja a kódolt 9 bitet, hogy az időben korábban kódolt 9 bit (előző kódszó) paritásához képest az adott 9 bit paritása változott-e. Ha a paritás nem változott (tehát pl. az előző kódszóban is több volt az egyes, mint nulla, és a jelenlegi kódszóban is több az egyes, mint a nulla), akkor az adott kódszavat invertálja
 - A 10. bit az invertálás megtörténtét kódolja

TMDS példa

Tegyük fel, hogy a korábban átvitt pixel (IN0) 10 bites kódjának paritása pozitív volt (több egyes, mint nulla)

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IN1			0	1	1	0	0	1	0	1
XOR			0	0	1	0	0	0	1	1
NXOR			1	0	0	0	1	0	0	1
Stage 1		1	0	0	1	0	0	0	1	1
Stage 2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
IN2			0	1	0	1	0	1	1	1
XOR			1	1	0	0	1	1	0	1
NXOR			0	1	1	0	0	1	1	1
Stage 1		0	0	1	1	0	0	1	1	1
Stage 2	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
IN3			0	1	0	1	0	1	1	1
XOR			1	1	0	0	1	1	0	1
NXOR			0	1	1	0	0	1	1	1
Stage 1		0	0	1	1	0	0	1	1	1
Stage 2	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0

Folytatás

- A TMDS szimbólum az aktív soridőben a tényleges pixelenkénti komponens adatokat, míg a kioltási idő alatt 2 bites vezérlő (szinkron) információkat hordozhat
- A 10 biten lehetséges 1024 kódszó közül
- 460 kombináció felel meg a 0-255 kódtartománynak
- 4 kód a vezérlő információkat kódolja (H/V sync), melyek nagy biztonsággal elkülöníthetők a többi szimbólumtól
- 560 tiltott kód

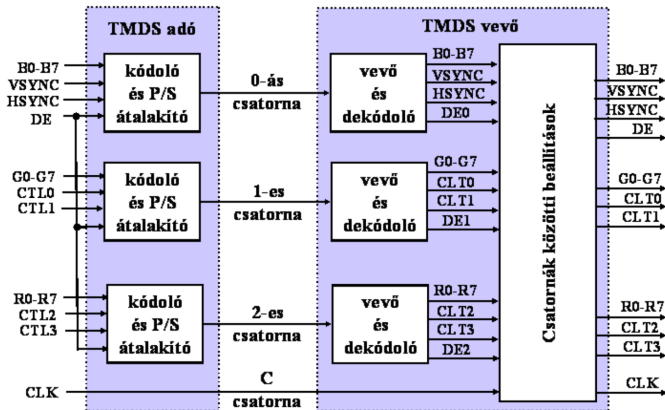


DVI-TMDS megoldások

- Egyetlen TMDS link 25-165 MHz órajeltartomány (pixel clock) között minden formátumot és időzítést támogat (ez a 8 bites adatra nézve 3.96 Gbit/sec)
- A 165 MHz-nél nagyobb órajelet igénylő formátumok esetében (tipikusan 60 Hz-nél nagyobb képfrissítésű HD, illetve 2K formátumoknál, illetve 8 bit/komponensnél nagyobb színmélységeknél) két TMDS linkre van szükség (egy TMDS link a 3 komponens átviteléhez szükséges három TMDS csatorna együttese)
- Két TMDS link esetén minikét link felezett órajel frekvencián működik



DVI-TMDS (single-link)



BME DVI csatlakozók

DVI csatlakozók és kábelek



csak analóg kábel



digitális és analóg kábel



DVI-I (single link)



DVI-I (double link)



DVI-D (single link)



DVI-D (double link)



DVI-A



Single link csatlakozó:

DVI láb kiosztás

láb	Jel megnevezés	láb	Jel megnevezés	láb	Jel megnevezés
1	TMDS Data2-	9	TMDS Data1-	17	TMDS Data0-
2	TMDS Data2+	10	TMDS Data1+	18	TMDS Data0+
3	TMDS D-2/4 Shield	11	TMDS D-1/3 Shield	19	TMDS D-0/5 Shield
4	TMDS Data4-	12	TMDS Data3-	20	TMDS DataS-
5	TMDS Data4+	13	TMDS Data3+	21	TMDS DataS+
6	DDC Clock	14	+5V Power	22	TMDS Clock Shield
7	DDC Data	15	Ground (+5V,Hsy,Vsy)	23	TMDS Clock+
8	Analóg V szinkron	16	Hot Plug Detect	24	TMDS Clock-
C1	Analóg vörös (R)	C2	Analóg zöld (G)	C3	Analóg kék (B)
C4	Analóg H szinkron	C5	Analóg föld		

- Visszafelé kompatibilis a DVI interfésszel
- Tisztán digitális tömörítetlen video, és tömörített, vagy tömörítetlen audio átvitelére szolgáló interfész szabvány
- Elektromosan kompatibilis a DVI jelformátumával
- A HDMI 1.3 spec. szerinti legmagasabb pixel órajel frekvencia 340 MHz (single link)
- Három független adatcsatorna:
 - Display Data Channel (DDC) viszi át I2C buszon az Enhanced Display Data Channel (E-DDC) információt, 100 vagy 400 kbps (fast mode) sebességgel
 - 3 TMDS csatorna (Video, Audio és kisegítő adattartalom)
 - Consumer Electronics Control (CEC): Interfészt biztosít az eszközök vezérlésére (Play/Stop/Record, menüvezérlés, hangolás, stb) - egy vezetékes kéirányú soros busz

- A 3 TDMS csatorna három fő működési módban működik: Video Data Period (aktív videotartalom), the Data Island Period (vízszintes vagy függőleges kioltási idő) and the Control Period (szinkronjelek időtartománya)
- A Data Island Period használható az audio, illetve egyéb kiegészítő adatok átvitelére (ezt a kiegészítő adattartományt használja a HDMI Deep Color szabvány (megnövelt bitmélység) jelzésére, illetve az xvYCC színtér jelzésére)

