

Hang- és képtechnika alapjai

Dr. Wersényi György

Távközlési Tanszék

A tantárgyról (2024 tavasz)

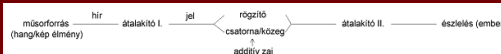
- BSc - választható tárgy
- Kedd, 10:20-tól A4 terem (3x45 perc, egy szünettel)
- Előadások a moodle-ben elérhetők a covidos narrált PPT formátumban (90%-ban ugyanaz)
- Számonkérés: jelenléti írásbeli vizsga, ZH nincs
- Elégőségi határa 50%, összesen 3 lehetőség
- Előadások látogatása nem kötelező
- Letöltések (pdf): <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/index.html> és moodle oldal

Tematika

Bevezetés, ismételés
 Hang és hallás fizikai alapjai
 A hallás folyamata
 Teremakusztikai alapfogalmak, visszaverődések szerepe
 Hangképzés, a beszéd fizikai és műszaki jellemzői
 A látás folyamata, színérzékelés, fényérzékelés
 Fotometria és képkötés
 Analóg képátvitel: fekete-fehér és színes tévé elve
 Állóképek digitalizálása (PCM, JPEG)
 Digitális képátvitel alapjai: MPEG 1-2 alapok
 Modern képkódolások: h264, h265, stb.
 DVB-S, DVB-C, DVB-T, DVB-H, IPTV
 HD felbontású technika, streaming szolgáltatások

Bevezető, ismételés

Az átviteli út



Analóg technika

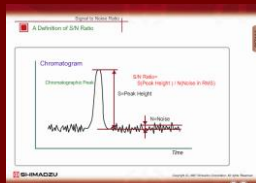
■ Sávzélesség:

- Beszéd (telefon): kb. 3-4 kHz-ig
- Zene, ének: 20 – 20 kHz
- Fekete-fehér mozgóképek (világosság információ):
max. 6 MHz, átlagban 2-3 MHz
- Színes RGB kép = 3*6 MHz
(ez majd csökkenthető)

■ A legfontosabb paraméter a jel-zaj-vízny:

SNR (signal-to-noise ratio) = $10 \cdot \log(S/N)$ [dB],
 ahol S a jel (signal), N pedig a zaj (noise) teljesítménye.

Types of signal	Frequency range	Bandwidth
Speech signal	300-3100 Hz	2800 Hz
Music signal	20-20000 Hz	20 kHz
Video signal		4.2 MHz
TV signal		6 MHz



Digitális technika

- Helyigény, bitsebesség megadása: kbps, Mbps
 - Raw data (nettó) + redundancia = bruttó

■ Beszédátvitel (telefon):

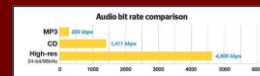
- A beszédérthetőség a legfontosabb paraméter
- 8 bit x 8 kHz = 64 kbps
- 300-3400 Hz

■ CD hang:

- $44100 \times 16 \times 2 = 1,4$ Mbps.
- 20 – 20050 Hz
- stúdióban 48-96 kHz, 24 bit, több csatorna

■ Digitális kép:

- Több száz Mbps is lehet: tömörítés kell



- A mozgókép sebességigénye nagyobb, mint a hangé
- Egy 100 különböző szírkérmával rendelkező fekete-fehér kép másodpercenkénti igénye:
 $600 \times 800 \text{ [pixel]} \times 25 \text{ [fps]} \times \log_2 100$
 ahol $\log_2$ a kettes alapú logaritmus jele. Ez az érték 80 Mbps.

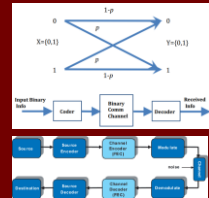
Színes képre 5x rosszabb a felbontása a szemnek, így arra kb. 84 Mbps adódik.

Képtechnika a stúdióban: 270 Mbps – 800 Mbps (HD)

Ez sok: veszteséges tömörítés szükséges (MPEG 1, 2, 4)

Járulékos adatok és tevékenység

- Redundancia = hibajavítás + blokkformátum
- Tömörítés kép és hang esetén:
 - veszteségmentes (max. 50%)
 - veszteséges (akár 90%)
- A csatorna = hibázós átviteli út, átmeneti valószínűségek halmaza
- Hordozó: sokkal jobb SNR, másfajta sérülés (kopás, karcolás, por stb.)
- Hibajavító- és csatornakódolásra van szükség!



A digitális technika

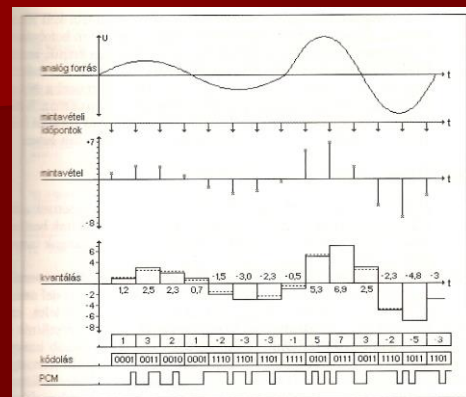
- Digitális technika célja:
 - Nem a minőség javulása (lehet rosszabb az analógnál)
 - Elvi hiba is van benne (kvantáláskor)
 - Reprodukálhatóság és minőségkonzerválás
 - Nem cél az alakhű átvitel, csak döntéskor kell jól dönteni.
 - Copy? Master? Clone?
 - Undo! Stúdióban nagyon hasznos.

A/D átalakítás (1)

- Mintavétel (sampling): az analóg jelből mintát veszünk adott időközönként. Így **időben diszkrét** mintasorozatot kapunk, amely számsorozat (még) végtelen hosszú tizedestörtből áll.
- Shannon-féle mintavételi törvény: ha f_{mv} (mintavételi frekvencia) $\geq 2B$ (ahol B a jel sávszélessége), akkor ezek az időminták leírják a jelet a közbelső időszakokban is tökéletesen, és a visszaállításához egy ideális aluláteresztő szűrő szükséges (interpoláló szűrő).
- A mintavett jel visszaállítása hibátlan és tökéletes! Ez azonban csak elméleti lehetőség, hiszen a számértékek még végtelen sok bittel írhatók csak le. Ahhoz, hogy rögzíthessünk, ezeket az értékeket kerekíteni kell.
- A mintavételi frekvencia növelése (matematikailag) nem javítja a minőséget (az ún. túlmintavételezésnek más a szerepe, lásd később).

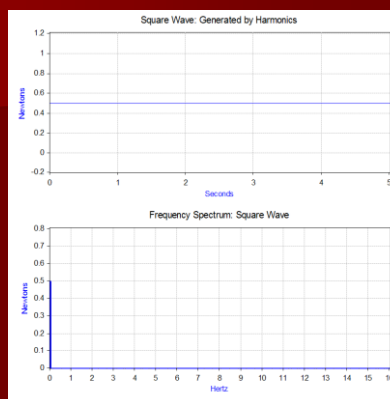
A/D átalakítás (2) és a PCM

- A kvantálás során a fenti értékeket most a másik tengely mentén diszkrétizáljuk. Az egész dinamikatartományt felosztjuk apró lépcsőkre (kvantálási lépcső), méghozzá minél többre. Egy 8 bites kvantálás során minden „kódzó”, azaz minden lehetséges lépcsőfoknak egy 8 bites szót feleltetünk meg, ez összesen 128 darab lépcső. Ha még egy bitet hozzáadunk, akkor ez a lépcsőszám duplázódik, azaz a felbontás kétszeresére finomodik.
- A már időben diszkrét minták így **amplitúdóban is diszkrét**é válnak. A finom részletek, kis változások (amelyek kisebbek, mint két lépcső közötti távolság fele) véglegesen elvesznek, tehát veszteséget, vissza nem állítható hibát csak a kvantálás okoz a digitális rendszerben, a mintavételezés nem.
- A kettő úgyis együtt működik, és a cél az, hogy ezeket a hibákat már ne vegyük észre, ne lássuk meg a képen, ne halljuk meg a hangban.
- A túl finom felbontásra nincs szükség, hiszen egy idő után már a termikus, additív zajkomponenseket fogjuk kvantálni és finomítani, amire nincs szükség.

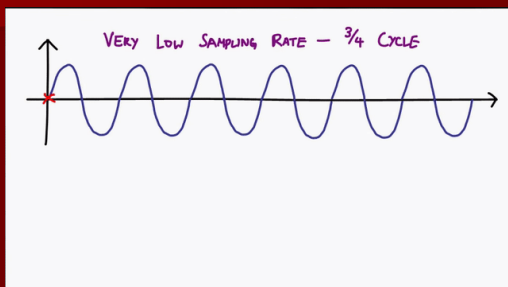


Az AAF és a kimeneti szűrő

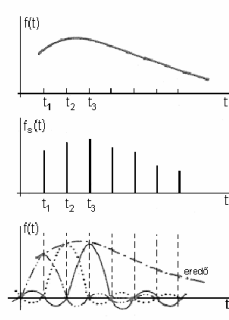
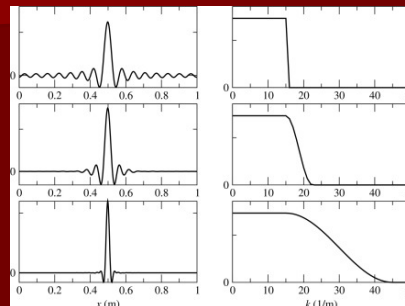
- AAF = Anti Aliasing Filter
- A mintavételi frekvenciánál vág, kötelező elem, különben „alias” hatás lesz.
- Pl. 40 kHz mintavételi frekvenciánál az 1 kHz-es jelből 40 mintát veszünk. A 20 kHz-esből csak kettőt! Ebből a két mintából kvantáláskor egy 20 kHz-es négyzetjel lesz. Ennek spektruma tartalmazza a paratlan felharmonikusokat (60, 100 stb.). Ezért kell a D/A végére is egy 20 kHz-es LPF, ami ezeket levágja és csak az alapharmonikust tartja meg: a bemenő jelet!
- Pl. 44 kHz-es mintavétellel 32 kHz-es jelet digitalizálunk. A kimeneti szűrő levágja a 22 kHz-nél nagyobbakat, így a 32 kHz-es hasznosat is. A mintavételi pontok azonban tartalmazzák a 12 kHz-es jelet (44-32), ami megjelenik a kimeneten, pedig a bemenetben nem volt meg (spektrális átlapolódás).
- Képtechnika: a hátrafelé forgó kocsikerék a képen is ilyen hiba: a külök mozgása nagyobb frekvenciájú, mint a képek másodpercenkénti száma, ami egyfajta mintavételezés.



Alias példa - alulmintavételezés



Impulzus vs. aluláteresztő szűrő

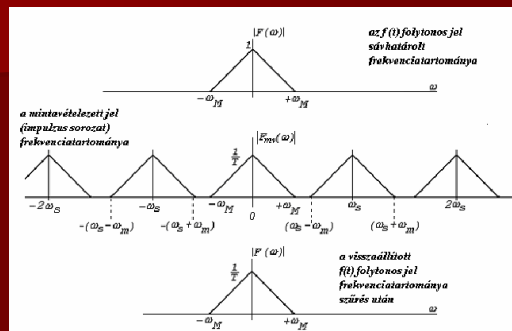


A természetes mintavételezés esetén – a Shannon szabályt betartva – a folytonos analóg jel aluláteresztő szűrő segítségével visszanyerhető.

Levezethető, hogy az aluláteresztő szűrőn átvitt, impulzusokból előálló időfüggvény egyenlete:

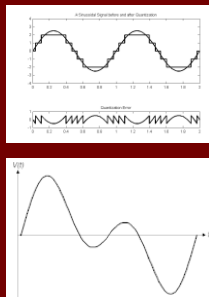
$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(t_n) \frac{\sin[\omega_s(t - t_n)]}{\omega_s(t - t_n)}$$

A $\frac{\sin x}{x}$ függvények a mintavételi időpontokban éppen a minták értékeit veszik fel, és mindig csak annak az egy függvénynek van itt nullától eltérő értéke, az összes többi nulla. A függvények összege – a mintavételek közötti időszakokban is – az eredeti időfüggvényt alakítja ki.



Hibaforrás digitális jelnél

- **Kvantálási zaj**-nak nevezzük a kerekítési hibát (pontosan a hiba négyzetes várhatóértékét). Amennyiben egyenletes a kvantálás (minden lépcső azonos magasságú és q nagyságú), akkor a kvantálási zaj teljesítménye: $q^2/12$.
- Általános ékkészabálynaként igaz, hogy amennyiben a kvantálást egy bittel megnöveljük a jel-zaj-viszony (és vele együtt a dinamika) +6 dB-el javul.
- A kvantálási zajt nem-lineáris (harmonikus) torzításként halljuk, ez nagyon zavaró.
- [ADOBE AUDITION DEMO: 1 kHz szinusz ill. négyszögjel spektruma, időfüggvénye, szűrése]



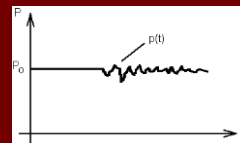
A hang fizikai leírása

- A hang terjedéséhez közeg szükséges, a rezgésállapot (energia) longitudinális nyomáshullám formában terjed.
- A hangnyomás időfüggvénye: a változást halljuk, nincs „DC hang” (DC kép van!)

- Hangnyomásszint (dB)

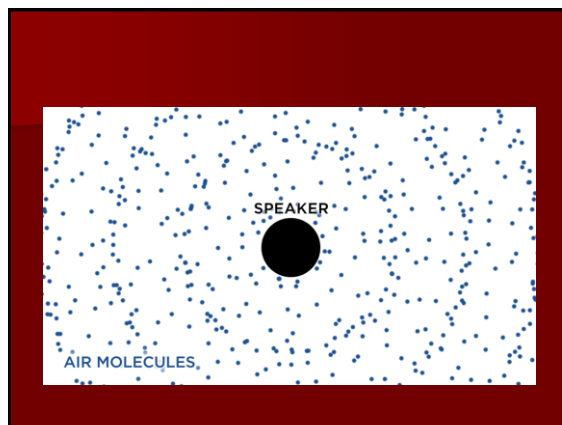
$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

$$p_0 = 10^{-5} \text{ Pa}, p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}.$$

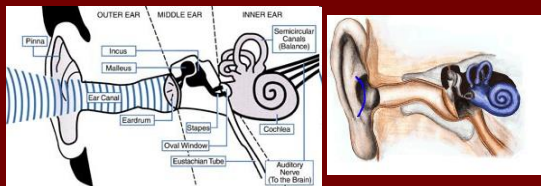


- $c = f\lambda = \text{kb. } 344 \text{ m/s}$ (hőmérsékletfüggő)
- Időegység alatt felületegységen áthaladó energia
 $I = \text{intenzitás [W/m}^2] = p v$
 (vektoriális, teljesítmény jellegű)

- <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Waves-and-Sound/Simple-Wave-Simulator/Simple-Wave-Simulator-Intro-wave>
- <https://www.youtube.com/watch?v=BSA4gfahNw>



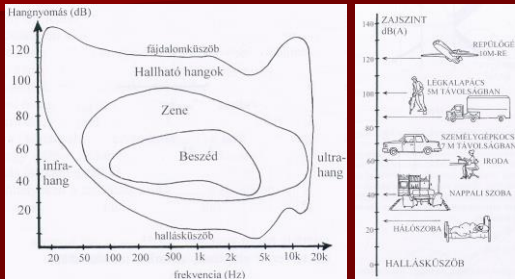
A hallórendszer



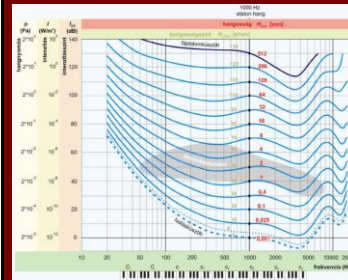
Hallás

- Fülék (perifériális) + agy (centrális)
- Amplitúdóban: Hallásküszöb ↔ fájdalomküszöb (kb. 120 dB dinamika)
- Frekvenciában: 20 Hz-20 kHz, öregedéssel romlik
- Skálázás: logaritmikus frekvenciában is: oktáv, terc, dekad
- Irányhallás: a fül és a felsőtest hatása, idő- és szintkülönbségek a dobhártya jelében. (A sztereó irányhatás alapja)

A hallástartomány



- Szubjektív/objektív leírások?
- A szubjektív hangosságérzet számszerűsítésére vezették be a *hangerősség* fogalmát. Ennek alapján egy tetszőleges hang hangerőssége annyi *phon*, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje.
- Cél: különböző frekvenciájú szinuszos hangok összehasonlítása szubjektíven érzékelt hangerősség alapján (Equal Loudness Level):

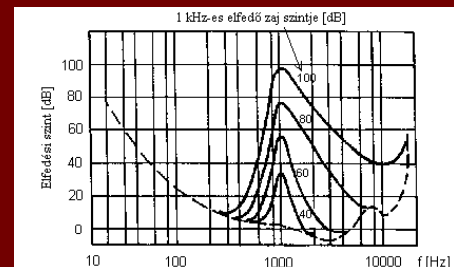


Hangerősség

Hangosság

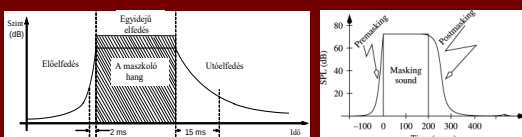
- Az egyidejűleg megszólaló hangok eredőjének meghatározására vezették be a *hangosság*ot, melynek jele N és mértékegysége a *sone*. A kiszámítás módja, ha a hangerősség meghaladja a 40 phont:
$$N = 2^{\frac{L_N - 40}{10}}$$
 - Eszerint 10 phon hangerősség-növekedésnek kétszer akkora hangosság felel meg. Amennyiben a különféle hangok nem túl közeli frekvenciájúak, akkor a sone-ban kifejezett hangerősségeik összegezhethők (1 sone + 1 sone = 2 sone, és ez kétszer olyan hangos hangot jelent).
- A 40 phon hangerősség 1 sone értékű.
Ökölszabály: kb. 10 dB növekedés (zaj jelek esetén) is megfelel kétszeres hangosság-érzetnek.

Hangelfedés a frekvenciában (masking)



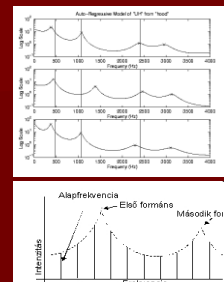
Elfedés az időben

- Időben is van elfedés: előre és utólag is!
- Előre nagyon rövid, oka: hangosabb hang gyorsabban terjed.
- Kihasználás: MP3 (lásd később).



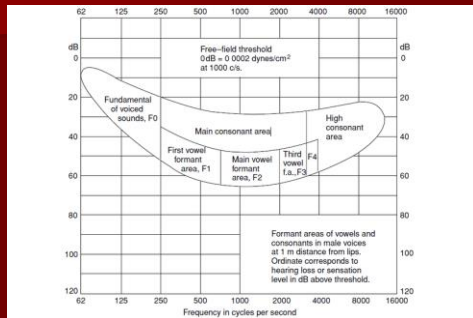
A beszéd

- A legfontosabb akusztikai hangjel számunkra
- Energiájának 90% 4000 Hz alatt van
- Magánhangzók (kváz)periodikus rezgések:
 - alaphang + felharmonikusok
 - Formáns: adott mgh-ra jellemző helyi maximum(ok) a spektrumban
 - F_0 : alaphang
 - $F_1 \dots F_4/F_0$: első formánsok
 - $F_5 \dots$ felső formánsok, 8-10 kHz felett az egyénre jellemző orgánum
- Mássalhangzók: zaj jellegű spektrum
 - lehet zöngés vagy zöngétlen
 - zajszerű ($s, z, z \dots$) vagy impulzuszerű ($p, t, k \dots$)
- A beszéd redundáns, hibajavítással bír
- A beszédérthetőség mérhető
- A beszéd teljesítmény átlaga kb. 20 μW, a kiabálás elérheti a 100 mW-ot. A dinamikatartomány (a leghalkabb suttogástól a leghangosabb kiabálás aránya) kb. 50 dB.



Phonetic Symbol	Example Word	F_0 (Hz)	F_1 (Hz)	F_2 (Hz)
/ow/	thought	170	570	2410
/oo/	boat	300	870	2240
/u/	boot	440	1020	2240
/a/	hot	730	1990	2440
/ah/	bat	850	1990	2390
/ei/	bet	490	1300	1990
/ae/	bet	650	1720	2410
/e/	bet	530	1640	2480
/i/	bit	390	1990	2390
/y/	beat	270	2290	3010

Speech banana (dB skála lefele!)



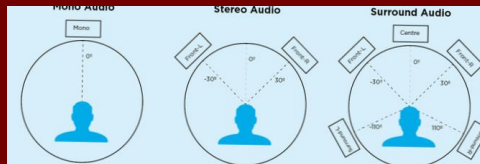
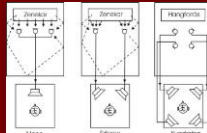
Koktélparti-effektus

- A beszédfeldolgozás jelensége a *koktélparti-effektus*, amely nevét arról kapta, ahol a leggyakrabban tapasztaljuk.
- Egysíkban, élő beszéd esetén az emberi hallás képes arra, hogy a nagy zsivajban (hátterben sok beszélő) egy adott emberi beszédre oda tudjon figyelni, a többit pedig elnyomni és zajként tekinteni.
- Ugyanezt képes váltogatni is, tehát másik emberre odafigyelni.
- A gépek erre nem vagy csak nehezen képesek, és az ember sem képes megoldani ezt a problémát, ha hangfelvételtől próbálja kinyerni az információt.



A hangtér előállítás

- Hangszórókkal vagy fejhallgatóval
- Felvétel: mikrofonokkal.
Mono = 1 csatorna, nincs benne irányinformáció.
- Manapság: sztereó vagy 5.1 (soksat., ill. 7.1 stb.



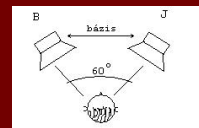
- A sztereó jel mono kompatibilis. Két elterjedt jelöléssel:

S (Stereo, Seite) = B - J, az ún. különbségi jel, amit rádiózásban modulálásra használunk fel.

M (mono, Mitte) = B + J, az összeg jel.

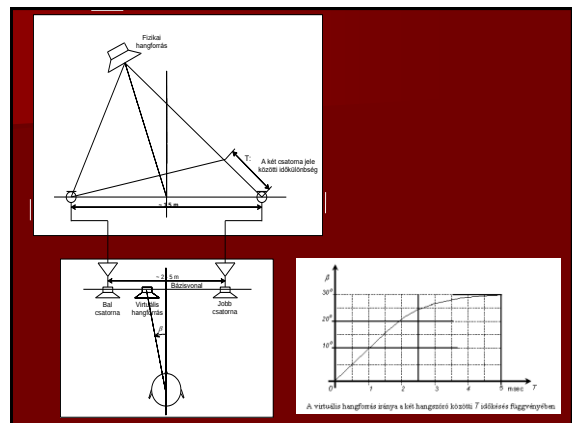
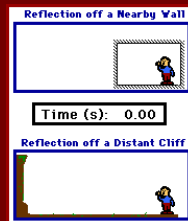
S-M, B-J sztereó

- A kettő matematikailag egyenértékű és egymásba átszámítható, egymással kiváltható: SM és BJ technika.
- A két hangszóró közötti részt *bázis*-nak hívjuk. Helyes polarizáció esetén a hang mindig a bázisban marad.
- Ellenfázisú hangszórók:
 - Kis frekvencián (600 Hz alatt) kikerülhet a forrás a bázisból
 - Közepes frekvenciákon (600 - 1500 Hz) diffúz térérzetet keletkeztet, ami az irányinformáció elvesztését jelent.
 - Nagy frekvenciák még ellenfázis esetén is a bázisban maradnak.

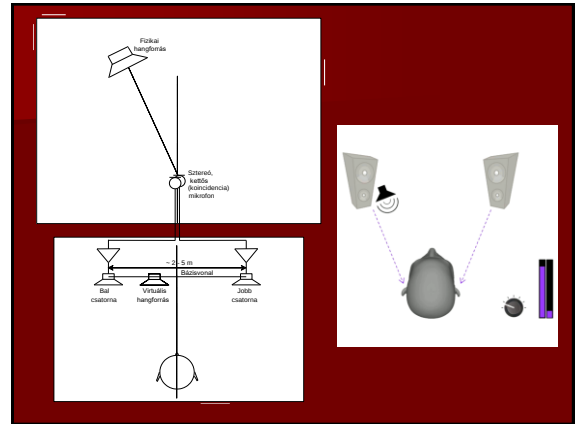


Intenzitásos és időkülönbséges sztereofónia

- Régen két lehetőség állt rendelkezésre (elvi szintű tárgyalás):
- Az ún. *időkülönbséges sztereofónia* alapja, hogy a két fülbe a jel **nem azonos időben** érkezik be (de azonos hangerősséggel). A forráshoz (most feltételezzünk egy darab hangforrást) közelebbi fülbe előbb fog a hang beérkezni.
- Ha az időkülönbség túllép 1-10 ms-ot, már csak egyetlen forrást fogunk hallani akkor is, ha a másik (hangszóró) szintje akár 6-10 dB-el is hangosabb.
- Kb. 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni (echoküszöb). A visszhang ellen védekezünk, nagyon káros!

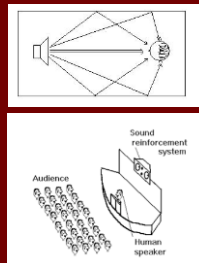


- Az ún. **intenzitásos sztereofónia** során a fülékbe azonos időben érkezik két jel, amelyek hangerőssége, **hangintenzitása különböző**, azt fogjuk közelebbinek hallani, amelyik hangosabb.
- Két mikrofont egy pontban (koincidencia mikrofon) helyezünk el, és ha a nem gömbi iránykarakterisztikákat adott nyílásszögűre állítjuk, akkor a mikrofonok ezen érzékenységből adódóan létre fog jönni a térérzet.
- Fontos, hogy ilyenkor (mivel a két mikrofon egy pontban van, tehát időkülönbség nem léphet fel), a térérzet a két csatorna közti intenzitás különbségből fog adódni, aminek fizikai oka a mikrofonok iránykarakterisztikája!
- Két hangszóró esetén 2 dB különbség már érezhető, 20 dB pedig teljes eltolódást okoz a hangosabbik irányába.
- A valóságban a két jelenség a fülünkben egyszerre lép fel: a közelebbi hangforrás hangosabb is lesz és egyben hamarabb is érkezik be a fülbe a hangja.
- Manapság sokcsatornás felvételtől keverik ki a sztereót.



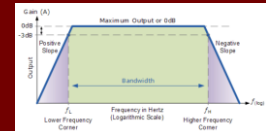
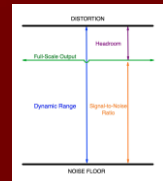
Haas-hatás (az első hullámfrenth törvénye)

- Feltételezzünk egy szobát, egy hangforrással és egy vevővel (ember).
- A hang a forrásból egyrészt a közvetlen, direkt úton terjed a fülbe (elsőként érkezik be). Majd a falakról reflexiók után másodlagos és sokadlagos hangutak alakulnak ki, amelyek időkésséssel és csillapítva érkeznek meg.
- Ha az első direkt hullámhoz képest az időkülönbség kisebb, mint 30 ms és a szintek közötti eltérés nem nagyobb, mint 6-10 dB, akkor az ember egyetlen hangforrást fog érzékelni, amelynek minőségét a közvetlen út határozza meg (és nem a rosszabb minőségű reflexiók).
- https://youtu.be/BKbfMetoT_I



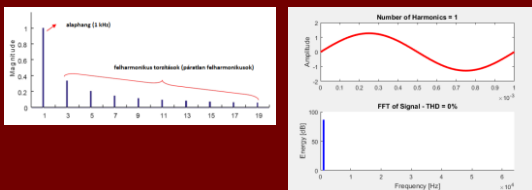
Átviteli jellemzők

- Átviteli cél:
 - Frekvenciában: mintavételi frekvencia és sávszélesség helyes megvalósítása
 - Amplitúdóban (dinamikában): bitszám megvalósítása, túlzériszt megakadályozása, de a jól SNR tartása
 - Írányhelyesen: csatornaszám?
- HiFi: 40 Hz-12,5 kHz, 0,1-1% torzítás (DIN 45 500) – különböző értékek
- Átviteli sáv: 3 dB-es pontok közötti távolság a frekvenciában



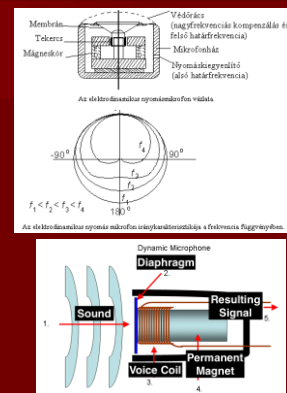
THD

- A teljes harmonikus torzítás (THD, total harmonic distortion) a többszörös frekvenciák effektív értékének és az alaphang (ált. 1 kHz) effektív értékének a hányadosa %-ban megadva.
- Nagyon érzékeny a fülünk rá: 0,1%-nál ha nagyobb, már nem HiFi.

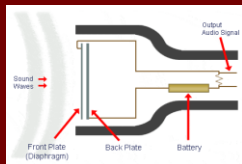


Mikrofonok

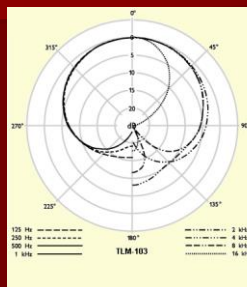
- Dinamikus mikrofon
 - Keskenysávú (sávszűrő-jellegű)
 - Általános célú (felvétel, hangosítás)
 - Mérésre nem jó
 - Tápfeszültséget nem igényel (passzív eszköz)
 - Erősítést igényel (érzékenység 0.1 mV/Pa körül)
 - A dinamikus hangszóró inverze
 - Akusztikus kompenzáció:
 - Fedél:
 - mechanikai védelem
 - nagyfrekvenciás kiterjesztés
 - Furat:
 - P₀ kiegyenlítése
 - Alacsony frekvenciás kiterjesztés



- A kondenzátormikrofon
 - Mérés célokra is jó
 - Jobb, drágább
 - Tápfeszültséget igényel a működéshez (elem, fantomtáp)
 - Érzékenység valamivel jobb
 - Erősítésre szükség van

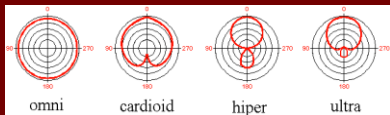
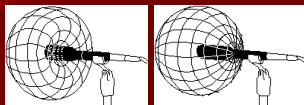


Neumann kondenzátor stúdiómikrofon hangfelvételhez

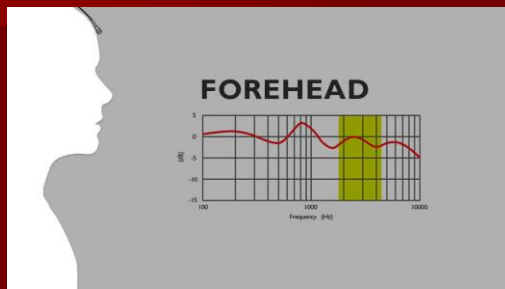


Íránykarakterisztika

- Gömb (omni, irányfüggetlen)
- Nyolcas
- Kardioid-fajták

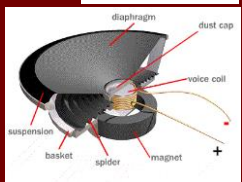
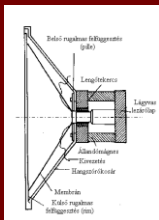


FOREHEAD

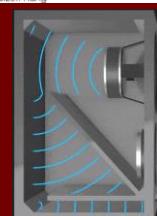
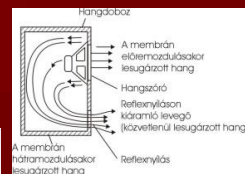
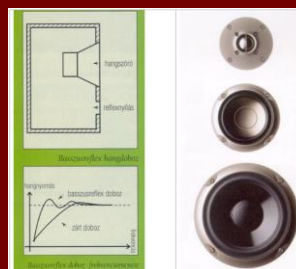


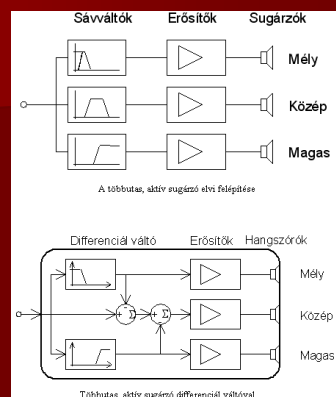
Hangsugárzók

- Dinamikus hangszóró
 - Hatásfok 1-2%
 - Terhelhetőség (Watt)
 - Átviteli tartomány
 - Névleges impedancia (erősítőhöz illesztés?)
 - Több-utas kivitel dobozba építve, váltószűrővel
 - Passzív eszköz, de létezik aktív sugárzó egybeépített erősítővel (monitorsugárzók)
 - Mély hangok: nagy, lágy felfüggesztésű membrán (+ reflexnyílás)
 - Magas hangok: kicsi, kemény membránok.



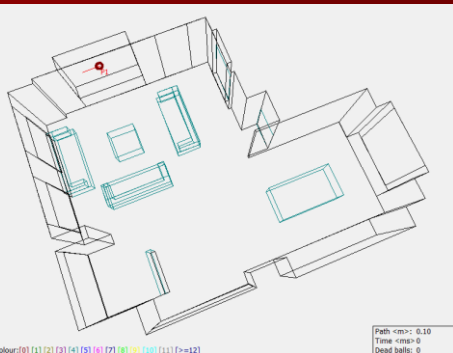
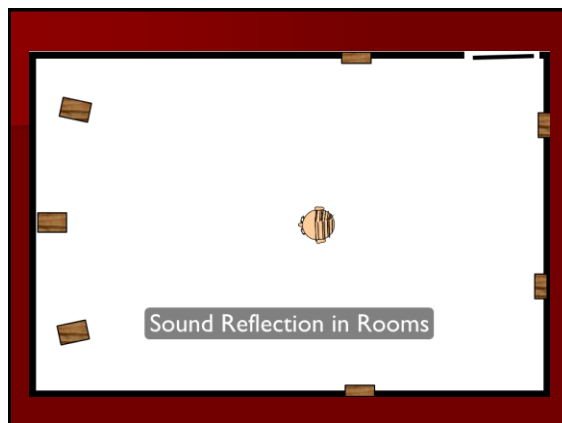
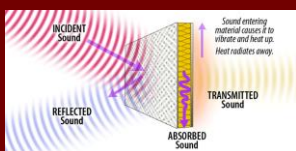
Többutas és reflex kivitel





Teremakusztikai alapok

- Egy fal felületére beeső hang egy része reflektálódik, egy része áthatol rajta, egy nagyon kis hányada pedig elnyelődik és hő formájában felszabadul.
- Ha I a beeső intenzitás és α a fal felület elnyelési tényezője (abszorpció fok), akkor αI mennyiség áthatol a falon, $(1-\alpha)I$ pedig visszaverődik, ha a veszteségeket elhanyagoljuk.
- A terem további fontos geometriai adatai: a térfogata és a különböző fal felületek nagysága (felülete) a hozzá tartozó α -értékekkel. Az alakja nem mindig!



Süket és zengő tér

- Süketzsoba:** mérőszoba szabadtéri hangterjedés szimulálására, ahol a hangnyomásra az **$1/r$ -szabály** érvényes. Nincsenek visszaverődések.
- A sok visszaverődés diffúz hangteret hoz létre. Ebben nincs kitüntetett hangterjedési irány, és bármely térfogategységben azonos az energiasűrűség. Az energia eloszlása tehát egyenletes, amennyi egy adott térfogatba beáramlik, annyi ki is, a hangnyomás időátlaga helyfüggetlen. (**Zengőszoba:** mesterséges tér)



- https://www.youtube.com/watch?v=Cygc_4ixV80

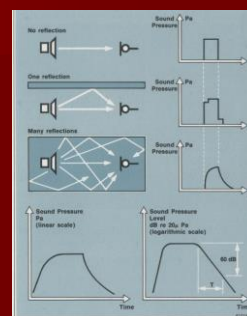


Utózungési idő (RT)

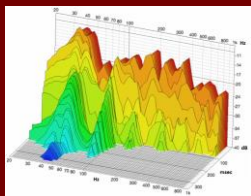
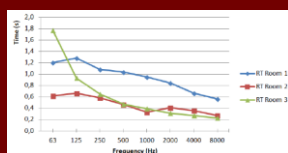
- A legfontosabb mérhető paraméter az *utózungési idő* (reverberation time).
- A hangforrás kikapcsolása után a hangenergia exponenciális „lecsengése” (lineáris amplitúdó tengelyen).
- A hangnyomásszint 60 dB-el esik (=a hangnyomás ezredrésze).
- Ezt mérhetjük impulzus gerjesztéssel vagy zajjallal.
- Ezt számolhatjuk is: empirikus formulákkal becsüljük tervezéskor.
- Kis utózungési idő jó beszédérthetőséget tesz lehetővé, de a cél nem a nulla elérése, mert az túl „szárazza” teszi a hangfelvételt. A zenei élményhez szükség van reflexiókra is! A stúdióban frekvencia független utózungési idő a cél, beszédhez kb. 0,5 s., zenéhez másfél másodperc ajánlott.
- Egy terem átvitelének megmérése: impulzusválasz

- Az utózungési időről elmondhatjuk, hogy

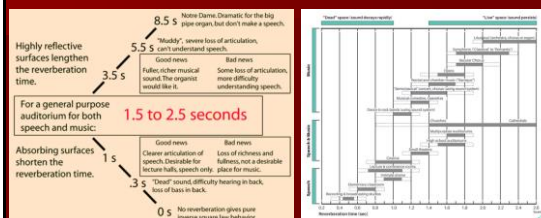
- RT nagy, ha sok a reflexió (pl. fürdőszobában)
- RT kicsi, ha kevés a reflexió (pl. bútorok között)
- RT frekvenciafüggő: kis frekvenciánál nagyobb (nehezebb elnyelni)
- RT határozza meg a terem felhasználhatóságát
- a nagy RT rontja a beszédérthetőséget és a zene élvezhetősége is csökken
- zenéhez kb. $RT_{max} = 1...3$ s kell
- diagrammal is megadhatjuk értékét (frekvenciafüggő)



- <https://www.youtube.com/watch?v=ILUcOFwZvyY>
- 112 sec RT!



RT példák



Az utózengési idő számítása

- Két empirikus formula létezik
- Az RT (τ -val is szokták jelölni) értéke függ a terem térfogatától (V) és az ún. abszorpciótól (elnyelés). Nem túl kicsi τ esetén alkalmazzuk a *Sabine*-formulát, három lépésben:

$$\tau = \frac{0,161V}{A}$$

ahol az utózengési időt sec-ban kapjuk meg, ha V-t köbméterben, A-t négyzetméterben helyettesítjük, a 0,161-es konstansnak pedig [s/m] a dimenziója.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Acoustic/revtim.html>

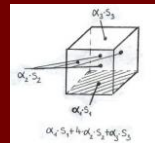
- Az A itt nem a felületet jelenti közvetlenül, hanem az abszorpciót:

$$A = \sum_i \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

Itt az S változó már ténylegesen egy adott felületet jelent négyzetméterben a hozzá tartozó elnyelési tényezővel (alfa). Az elnyelési tényező általában adott, táblázatból kikereshető. Alfa mérhető is, és számolható is:

α = elnyelt energia/beeső energia.

- Az elnyelési tényező frekvenciafüggő.
- Ez a képlet nagy utózengési időknél használatos, és egyenletes terjedést feltételez minden irányban (izotróp).
- Nagyobb A és egyre kisebb τ esetén az eredmény egyre pontatlanabb lesz.



- Kiseb τ esetén a másik használatos képlet az *Eyring*-formula:

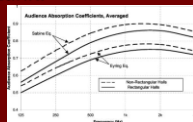
$$\tau = \frac{0,161V}{S \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

ahol egy átlagos alfával dolgozunk:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

és ahol

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$



- Akkor a legpontosabb ez a formula, ha az α -k kb. egyelők (hátrány), ugyanakkor matematikailag korrektebb, mert süketszobára, ahol alfa értéke egy, τ -ra zérus jön ki.

Az utózengési idő mérése

- Alapjában két módszer létezik a mérésre.

- A legjobb az *impulzusválaszos* mérés, amikor impulzussal gerjesztjük a termet.
- Kimondottan erre készült pisztoly-hangforrással, de egyszerű lufidurrantás is megfelel.
- Mérjük azt az időt, amikor a kezdeti „bumm” szintje hatvan dB-t esik.
- Hátránya a módszernek, hogy kevés energiát közöl kis frekvenciákon, nem reprodukálható és nem biztos, hogy elég sokáig tart az impulzus.
- <https://www.youtube.com/watch?v=oNS5rz8VMks>

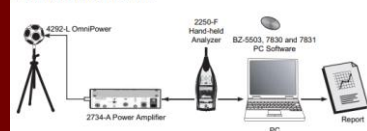
- A másik módszer *zajgerjesztéssel* dolgozik.
- A zajgenerátor fehérzajt ad ki magából (esetleg rózsaszín zajt).
- A hangforrás hangos, mely általában hangszóró vagy ún. referencia zajgenerátor.
- Miután ezt bekapcsoltuk és feltöltöttük a hangteret energiával, beáll egy állandó szint, majd kikapcsoljuk azt, és nézzük, mennyi idő alatt esik az a szint hatvan dB-t.
- Pontos órára mindig szükség van, de manapság modern kézi műszerek trigger-jelre indulnak és automatikusan mérnek.



Impulsive Excitation Method

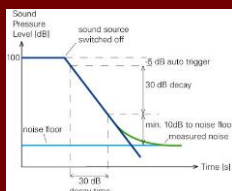


Interrupted Noise Method

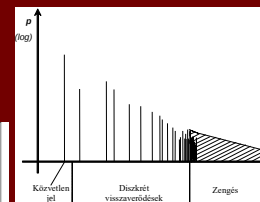
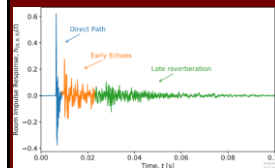
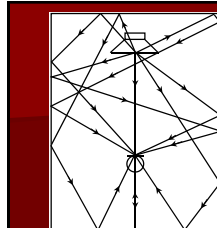


$$T_{60}, T_{40}, T_{20}$$

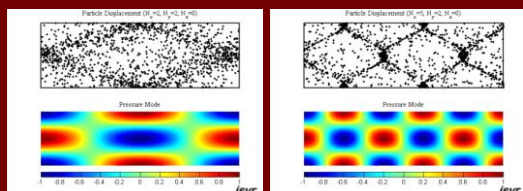
- Az így mért értéket T_{60} -al jelöljük.
- Azonban ekkora csökkenés nem mindig mérhető az alapzaj miatt. Ha ez a helyzet, akkor a -40 dB-es pontot vagy csak a -20 dB-es pontot mérjük meg, és ebből interpolációval becsüljük a hatvanashoz tartozót.
- Ilyenkor T_{40} -el ill. T_{20} -al jelöljük az értékeket (A T_{40} nem a -40 dB-es pont ideje, hanem annak a -60 dB-es pontnak, amire az a mérés csak -40 dB-ig végeztük).



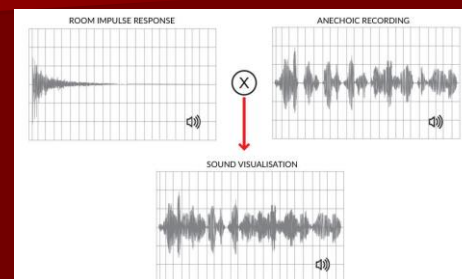
Terem impulzusválasza



Teremmódusok



Konvolúció: virtuális hangtér-szimuláció (auralizáció)



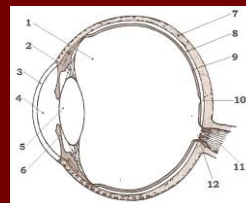
Fénytechnikai alapok

- Fotometria és színmérs fogalmai, amelyek kapcsolatban vannak az emberi látással és színérzékeléssel
- Fotometria (fekete-fehér fénymérés) ill. kolorimetria (színmérés)
- Fénytechnikai mennyiségek leírásának három módja:
 - Fizikai jellemzők (objektív, tisztán fizikai mérések)
 - Érzékelés szerint (szubjektív, nem mérhető, pl. „piros” vagy „sötét”)
 - Pszichofizikai jellemzők (szabványos optikai lencsén és szűrőn átvetve „objektíven utánozzák” a látás szubjektív tulajdonságait.)

Fénytechnikai jellemzők csoportosítása		
A fénytechnikai jellemző		
neve	mérésének elnevezése	jellege
érzet	---	szubjektív
pszichofizikai	fotometria (fénymérés)	objektív
fizikai	kolorimetria (színmérés)	objektív
	radiometria (sugárzás-mérés)	objektív

Szem, látás

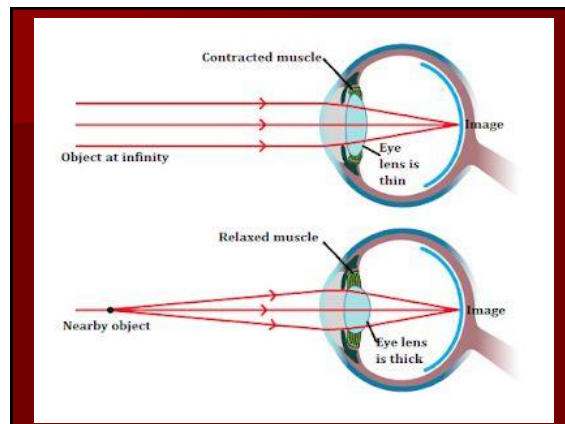
- A szem:
 1. üvegtest
 2. mozgató izmok
 3. szaruhártya
 4. csarnok(víz)
 5. szemlencse
 6. szivárványhártya és pupilla
 7. ínhártya
 8. érhártya
 9. retina (ideghártya)
 10. központi mélyedés
 11. kilépő idegköteg
 12. vakfolt



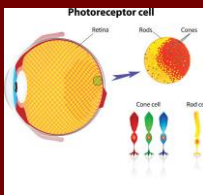
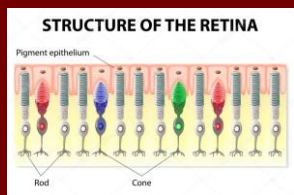
Látás fiziológiája



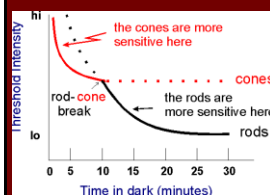
- Szemek: perifériális, agy: centrális feldolgozás
- A fény áthalad az üvegtesten, eléri a retinát és azon is áthalad (ennek hátulján vannak az érzékelő sejtek)
- A lencse pont a retinára fókuszálja a tárgy képét (fordított állású), ha a szemünk jó. Rövid- ill. távollátóknál előtte ill. mögötte van a fókusz
- Az optikai tengelyben van a sárgafolt. Ennek közepe a központi mélyedés, itt sok a csap, de nincs pálca: maximális sűrűségű receptorsejtek
- A térbeli felbontás csökken ettől kifelé haladva.
- Vakfolt: itt nem látunk.
- Van „információtömörítés” is: több érzékelő sejt van, mint idegsejt, kifelé távolodva a retinán egyre több érzékelő gerjeszt egy idegsejtet.
- Két szem: 3D látás kb. 1m – 50m között, e felett a tapasztalat, kitakarások, árnyékok stb. segítenek.



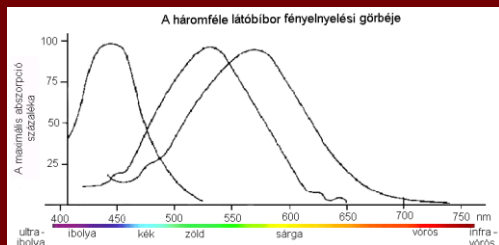
- Fényérzékelés: kétféle receptorsejt
 - pálcikák sötétben (rod),
 - csapok (cone) világosan működnek.
- Pálcikának csak egyféle „látóbíbor”-ja van (rodopszin), ezért nincs színlátás sötétben, illetve egy kis kéket érzékelnek.
- Csapok: rodopszin, cyanopszin, jodopszin: 3 látóbíbor, amely elnyeli a fényt és lebomlik tőle → ingerületet okoz. Ezek a szem pihentetésekor (sötétben ill. még pislogáskor is) termelődnek újra.



- Adaptációs idő: pupilla tágulása/szűkülése. Sötétből fénybe gyors, néhány mp; fényből sötétbe lassú, 20-30 perc is lehet.

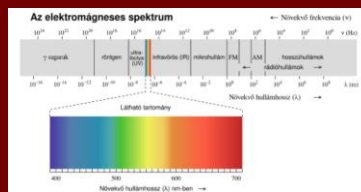


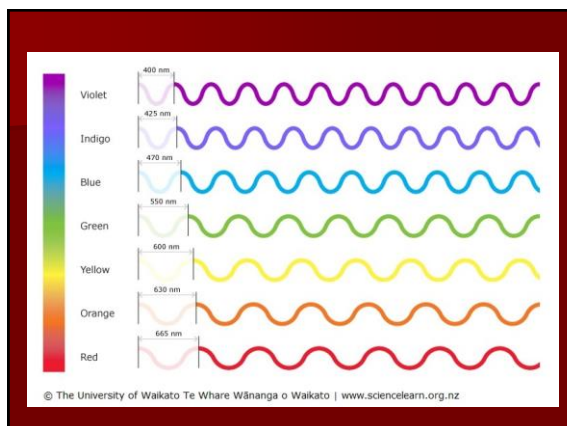
- A csapokban háromféle látóbíbor van, melyek az alábbi színekre érzékenyek: kék, zöld, zöldessárga.
- Ez nem teljesen felel meg az RGB színeknek: a vörös a gyakorlatban jobb megoldás. (Színporok!)
- Sötétben csak a kéket látunk (pálcika).



A látható fény

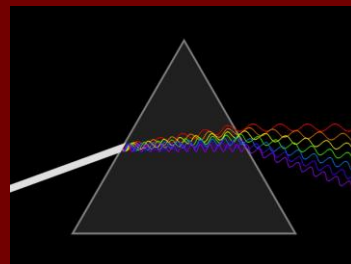
- A látható fény elektromágneses sugárzás a kb. 400-700 THz (400-700 nm) tartományban.
- A frekvencia (hullámhossz) felel meg a színeknek. Spektrálisín = egyfrekvenciás rezgés.
- Fénysebesség: $3 \cdot 10^8$ m/s (hangsebesség levegőben 340 m/s!). A fény terjed vákuumban is. Más sugárzások is, mint pl. röntgen, IR, UV, rádióhullámok stb.
- Az érzékelt szín függ a megvilágítástól: fehér fényben a legjobb. Pl: zöldesség-gyümölcs zöldes/pirosabb sárgás-pirosas fényvel megvilágítva.





Prizma

- FFT analízátor
- A ráeső (Nap)fényt komponensekre bontja (szivárvány).

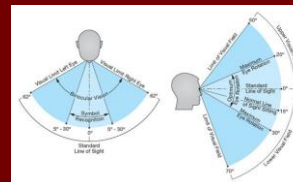


A szem érzékenysége

- Fekete-fehér információra a szemünk ötször érzékenyebb, mint színes tartalomra: felbontás is ezzel arányos:
Színes képen 5x akkora pixelek is lehetnek.
- Továbbá: az információigény (sávszélesség, bitsebesség) aránya is kb. ötszörös.
 - Analógban: ff-kép maximális tartománya 6 MHz
 - Pusztán a színes információ: 0,5-2 MHz (ún. színkülönbségi jelek – lásd később)
- Mozgó kép: folyamatos mozgás

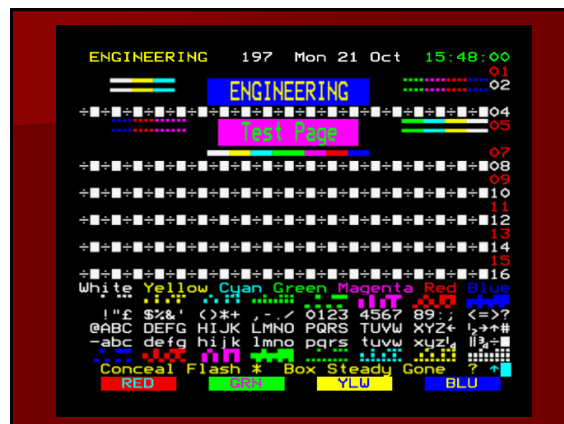
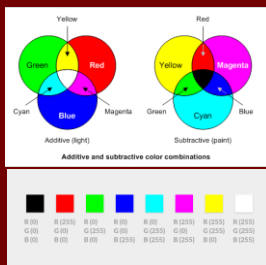
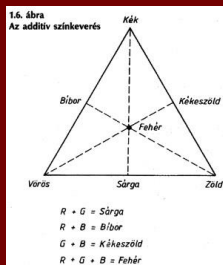
A szem felbontása

- Fiziológia: kb. 6 millió csap, 100 millió pálcika = kb. 100 Mpixel
- Kamera ≠ szem, mert a kamera a teljes képen egyforma felbontású, a szem pedig az éleslátás részén a legjobb, viszont nagyobb területet lát.
- A szögfelbontás alapján a leg részletgazdagabb látható részen olyan élesen látunk, mint amit egy kb. 576 Mpixel-es kamera készítené.

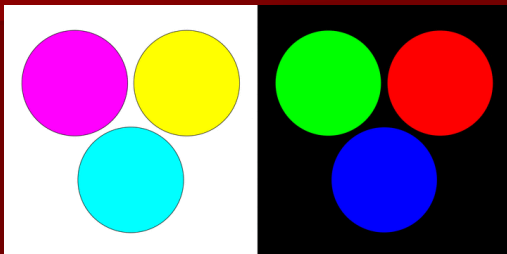


■ Színkeverés meghatározása (metamer színingerek)

- Additív és szubsztaktív: a valóságban csak az additív valósítható meg, mert kivonni nem tudjuk a színeket.
- Ha $R+G+B$ =fehér és $G+B$ =kékeszöld, akkor kékeszöld=fehér- R
- Red, green, blue, yellow, cyan, magenta, black, white (3 bites leírás, mint pl. a Teletextnél).
- CMYK = printerek használják, K a fekete külön, hogy ne a másik háromból kelljen kiverni.



Színkeverés



Szabványosítás

- **CIE: Commission Internationale de L'Eclairage** (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION)

Általános értelemben színkeverési és fénytechnikai ismeretek, szabványok (1930-tól).

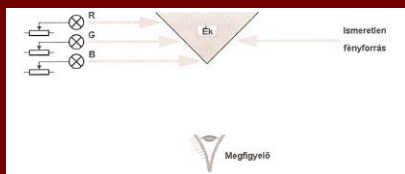
- **FCC: Federal Communications Commission** (USA)

Kimondottan az amerikai (NTSC) színtévé-rendszer kialakításban működött közre az FCC alapszínek, színporok lehetőségeit vizsgálva (1951-től).



- CIE szabvány:

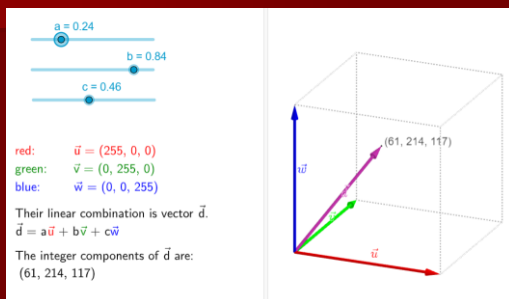
- R: 700 nm, G: 546.1 nm, B: 435.8 nm
- Összehasonlító mérés a színkeveréshez. Bizonyos színek nem keverhetők ki, a vöröset át kell vinni a másik oldalra (színtorzítás lesz a tévében).
- Mérés és eredménye ábrázolva:



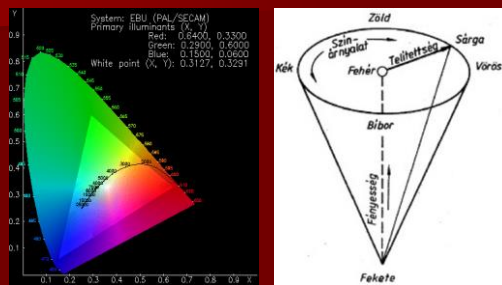
Koordinátageometria

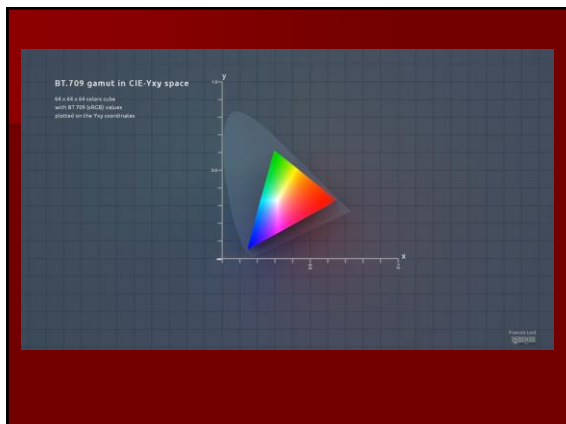
- Az RGB-tér egy pontja (3D vektor végpontja) egy adott szín.
- Két szín „összege”, azaz keverése = koordinátánkénti összegzés (lineáris művelet).
- A 3D ábrázolás nehézkes: létezik többféle koordináta-transzformáció, ami síkproblémává teszi ezt: áttérés valamiféle síkvetületre.
- A leghíresebb és látványosabb az ún. színpatkó, amelynek pereme a meghajlított frekvenciategyely a spektrálszínekkel. Az intenzitás információ „felfelé” látszana.
- A szírványban nem létező bíboregyenest és a különböző fehéreket is jelölni szokták.

- <https://www.geogebra.org/m/Dq2A7aRv>



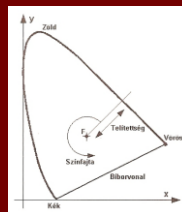
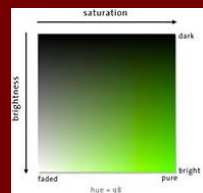
Színpatkó síkban és térben



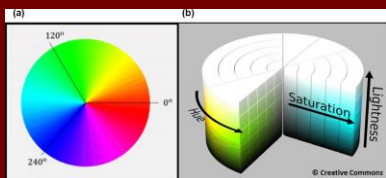
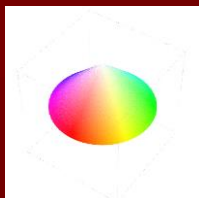


■ Más színekoordináták:

- Intenzitás, színfajta és telítettség:
IHS: intensity, hue, saturation
HLS: hue, luminance (fényesség), saturation
- A színfajta megadható a hullámhosszal ill. fokban is.



HLS



■ A fekete test

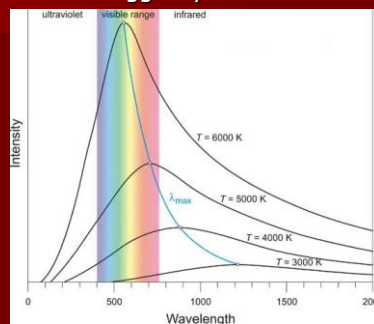
- Minden más ráeső sugárzást elnyel elméletileg, gyakorlatban ilyen kb. egy csillag vagy az izzószála.
- Bár egy fekete test a ráeső sugárzásból semmit nem ver vissza, ez nem azt jelenti, hogy ő maga nem sugároz. Egy adott hullámhosszon és hőmérsékleten bármely test spektrális emisszióképességének és abszorpcióképességének hányadosa állandó, a fekete test sugároz a legjobban.
- Kisugárzása (a sugárzás spektrális eloszlása) csak a fizikai hőmérsékletétől függ.
- Az energiakisugárzás hullámhosszfüggését leíró függvényt Planck empirikusan vezette le, feltételezve, hogy kvantált az energiaátadás.
- Hőmérsékleti sugárzásnak nevezzük az anyag töltött részecskéinek hőmozgása által kibocsátott elektromágneses sugárzást. A testek mindenféle elektromágneses hullámokat bocsátanak ki, a környezet hőmérsékletétől függetlenül.

- Kis hőmérsékleten a nagy hullámhossz dominál (vörös), 6500 K-elvinnél fehér izzás van, nagy hőn kék.

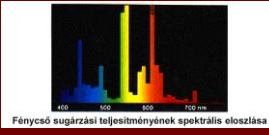
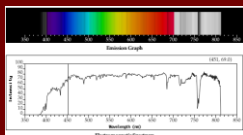
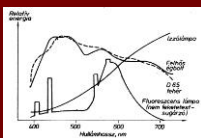
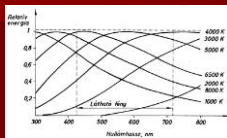


- A „hő” = színhőmérséklet: izzó esetén a színhőmérséklet közel egyenlő a valóságos hőmérséklettel (folytonos spektrum).
- A nem ideális termikus sugárzók (izzószála) és a nem termikus sugárzók (például fénycső) színhőmérséklete megegyezik annak az ideális termikus sugárzónak hőmérsékletével, amellyel azonos színű fényt sugároz ki.
- CIE szabványok:
 - CIE A a wolframizzó, 2855,6 K
 - CIE B a 4874 K-es napfény (ultraibolya nélkül)
 - CIE C a 6774 K-es napfény
 - Megj.: a napfény a közvetlen sárgás nap és az ég szírt kékjének összege, ami sok minden függvénye.

■ A fekete test sugárzása a hullámhossz és a hőmérséklet függvényében

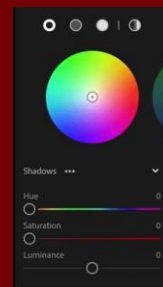


Különböző fehérek és spektrumok



TV-technika alapjai

- Fénysűrűség = világosság (nincs szín információja)
- Szín = frekvencia, domináns hullámhossz, fok-érték (nincs világosság információja)
- A három legfontosabb érzeti jellemző:
 - Világosság (Y, L): adott felület mennyi fényt bocsát ki.
Ez a fekete-fehér információ.
 - Színezet (H): milyen színű valami (kék, vörös stb.)
 - Telítettség (S, színtartalom): valamilyen érzékelt szín azonos világosság mellett a fehér és az adott spektrálszín között hol helyezkedik el (világos kék, sötét zöld, halvány piros)



■ Fontos paraméter még:

- Fúziós frekvencia: a fény ill. színingerek változásának az a frekvenciája, ami felett a világosság ill. az érzékelt szín változása nem érzékelhető (alatta villog a kép, felette nem).
- Villogás: a fény ill. színinger gyors változása által keltett érzet, ha a változás frekvenciája kisebb a fúziós frekvenciánál.
- Színvisszaadás képessége: mennyire egyezik a valós szín a kamera által felvett, majd a színes tévé által megjelenített színnel? (A színpatkót látjuk, de a TV csak egy RGB háromszöget tud átvinni).

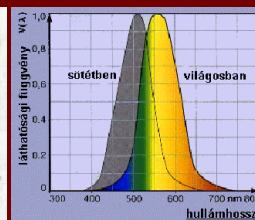
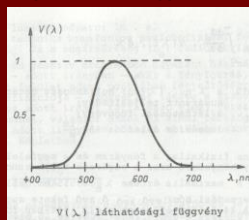
FPS

- Micro lag (micro stutter):
Akkor fordul elő, ha a képkockasebesség *éppen annyira* ingadozik, hogy átlagosan pl. 60 fps legyen, de egyes képkockák kicsit korán, mások pedig későn jönnek. A képkocka üteme csak egy kicsit elmarad az optimálistól.
- Filmmél ez egyenletes és állandó, ott a 30 fps a mozgáshoz és 50-60 fps a fúzióhoz elég.
- <https://frames-per-second.appspot.com/>
- <https://everysecond.io/frames-per-second>
- Játékoknál a rendereléskor lehet, hogy fél mp alatt elkészülnek a framek, majd áll.
- <https://youtu.be/Q6YxYDFBZmM>

Fotometria

- A szem különböző frekvenciákon különböző érzékenységgel (vö. hallásküszöb görbe).
- A mérés eszköze a „műszem”, amely hasonló érzékenységgel, de objektív, pszichofizikai számadatokat szolgáltat (vö. hangnyomásszintmérő).
- Ez az érzékenységgörbe CIE szabvány: neve *láthatósági függvény* $V(\lambda)$.
- Felvétele: azonos sugárzott teljesítmény esetén 555 nm-en keltődik a legnagyobb világosságerzet, majd a többi azonos világosságerzetet keltő teljesítményének arányát vették fel. (A világosban látás görbéje fontos a tévéhez, de van sötétben látáshoz is függvény.)
- A láthatósági függvény a megvilágítástól függ, világosban van értelme megmérni.

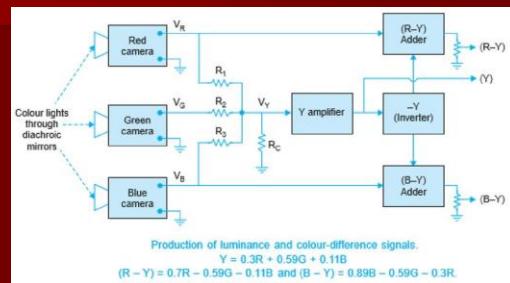
■ Láthatósági függvény (CIE szabvány):



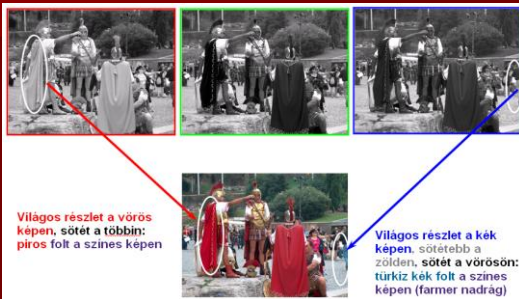
A színkülönbség fogalma

- A három színösszetevő relatív fényűrsége:
 $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$
 $0 = 0.3(R-Y) + 0.59(G-Y) + 0.11(B-Y)$
- A színkülönbségi jeleknek (-Y miatt) már nincs világosságtartalma, csak színösszeinformációt hordoznak.
- Előjeles mennyiségek, három ismeretében a negyedik kiszámítható.
- Mivel a zöld jel járul hozzá legnagyobb mértékben a világosságjel képzéséhez, következésképpen a zöld színkülönbségi jel (G-Y) amplitúdója a legkisebb. A G-Y komponens esetében a legrosszabb a jel-zaj viszony, ezért a zöld színkülönbségi jelet nem közvetítjük, hanem azt számítjuk.
- Vigyázat! Y mellett R, G és B is 6 MHz igényű, mert utóbbiak tartalmaznak Y komponens, míg a R-Y, B-Y és G-Y ennél kevesebb. Ez hasznos az átviteltechnikához, mert nem kell 3*6 MHz. De ez csak az embernél igaz.
- Másik ok a színkülönbség mellett: Y-t a kompatibilitás miatt úgyis át kell vinni. Ha R, G, B-t vinnénk át, akkor csak az egyiknek az Y tartalma alapján látnánk egy „világossággal helytelen” képet. A valóságban a fekete-fehér R, G és B súlyozott összegét kell előállítani a világosság helyes Y előállításához (pixelenként).

Előállítás

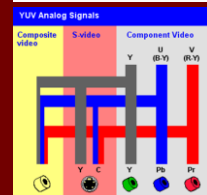


RGB részek a szürke képen



Színrendszerek

- RGB
- YUV = YCrCb, ahol $Cr = V = R - Y$ és $Cb = U = B - Y$
- Ezek alapsávi komponens videójelek (nincs moduláció), 3 kábel kell hozzá, ez a legjobb minőségű
- Kompozit jel: egy kábelen modulálva három információ

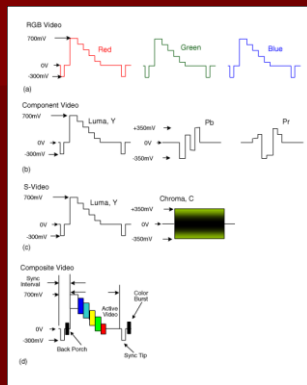


■ RGB

■ Komponens

■ S-Video

■ Kompozit



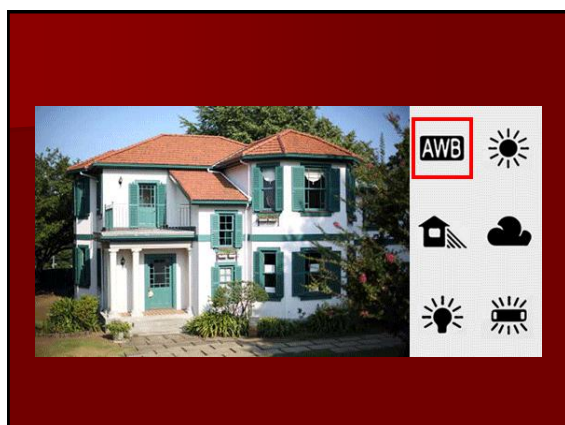
Video Cables			
Composite-ICA	S-Video	Component	HDMI
Quality FAIR Can send transmit HD signals; max 480i resolution	GOOD Can send transmit HD signals; max 480i resolution	BETTER Best quality for standard-def DVI/Ca can transmit analog HD video signals	BEST Carries 1080p resolution
Description Transmits analog video as a single "composite" signal	Transmits analog video as three separate "components" (two for color, one for brightness)	Transmits analog video as three separate "components" (two for color, one for brightness)	Transmits digital HD video and multi-channel audio in a single cable
Tip: Typically colored yellow and bound to red & white audio cables	Pins can easily be bent accidentally	May use three composite video cables instead; make sure labels match up on both ends	For best performance, look for cables that are HDMI certified
Audio Cables			
Analog-ICA	Optical	Digital Coaxial	HDMI
Quality FAIR to GOOD Improves with better cable construction; multiple cables needed to create surround sound	BETTER Difficult to distinguish from digital coaxial	BETTER Difficult to distinguish from optical	BEST Allows for digital audio at a higher bit rate than optical or coaxial
Description Transmits analog single-channel audio; which degrades quality of digital recorded audio	Transmits digital multi-channel audio as pulses of light	Transmits digital multi-channel audio signal	Transmits digital HD video and multi-channel audio in a single cable
Tip: Can also be used to interconnect a subwoofer to a receiver	Avoid kinks along the length of the cable, which degrade sound quality	Resembles audio RCA cables; may use video RCA cable instead	For best performance, look for cables that are HDMI certified

A helyes színvisszaadás

- Nem a valósághű reprodukciót tekintjük „jónak”, hanem azt a képet, amelyet akkor látnánk, ha fehér fényrel világítanánk meg.
- A fehér fény (nappali) változik az idővel, időjárással, a mesterséges megvilágítás pedig sárga, és nem fehér.
- A helyes színvisszaadás ebből a szempontból nem valósághűséget jelent.
- Megoldás: olyan színszűrő kell a fényforrás elé, amely annak spektrumát „fehér fényvé” teszi. A fényforrás helyett a kamera elé is lehet tenni, ami egyszerűbb. Azonban minden forráshoz külön kellene szűrő...

- Gyakorlatban lehet elektronikus színkorrekciót is végezni (közeli eljárás kamerákban).
- Ilyenkor erősítőt kell építeni a kamera R,G,B feszültségét előállító útjába. A három erősítő erősítését úgy kell megválasztani, hogy a 3 alapszín ismét egyenlő legyen egymással (Y maradjon állandó).
- Szürke és fehér felület esetén ilyenkor a kamera három alapszíne mindig egyenlő nagy lesz és ez egzaktul helyes korrekció. Más színeknél mindig van kis elvi hiba. Annál nagyobb a hiba, minél jobban eltér a fényforrás a C-féhértől.

FEHÉREGYENSÚLY BEÁLLÍTÁS



Sötétben nézzünk filmet?

- Kérdés: A monitoron/tévéen megjelenített kép esetében miért nem alkalmazkodik szemünk a megváltozott fényviszonyokhoz?
- Azért, mert mindig a környezetünkkel összhangban érzékeljük a színek harmóniáját. Ez esetben a környezet (amelynek a monitor is része) helyesnek érzett színvilágához képest a monitoron megjelenő kép színei természetellenesek.
- Hiába van sötét a képen a világos szobában, a pupillánk nem táglul ki – ezért van sötét a moziban.
- A szem ezen szubjektív tulajdonsága nagyon fontos tényező a videotechnikában.



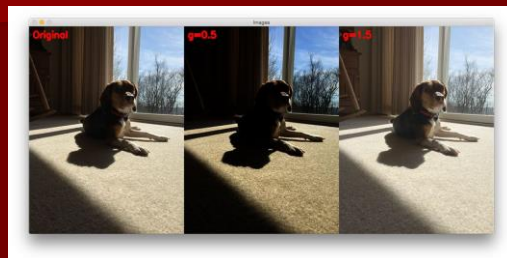
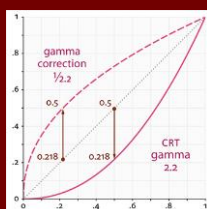
Gamma korrekció

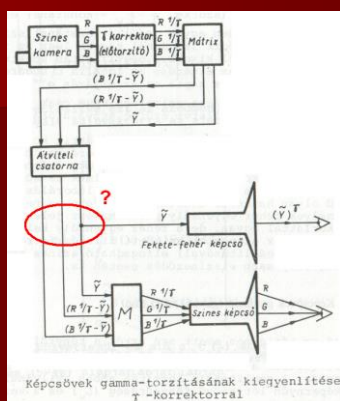
- A régi tévéképcső (katódsugárcső) jelentősen torzítja a villamos jelek fényre alakítása során az információt.
- A torzítás nem lineáris, mert a képernyő létrejövő fényssűrűség és a vezérlő feszültség nem arányos lineárisan, hanem egy γ (gamma) = 2,2 hatványkitevőn keresztül:

fényssűrűség = konstans * feszültség $^\gamma$

- Ezt a vevő helyett a legegyszerűbben a kamerához közel kell korrigálni (és megtartani a lineáris átvitelt).
- Az elv, hogy a továbbítandó jelet inverz módon előtorzítják (ez a gamma korrekció), melyet „helyesre” a képcső fog visszatörzíteni a vevőben.

Ekkor $Y' = 0,3R^{1/\gamma} + 0,59G^{1/\gamma} + 0,11B^{1/\gamma}$

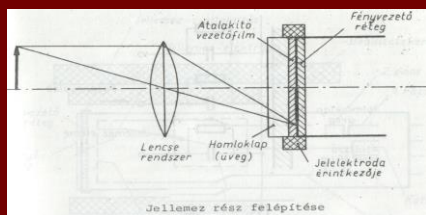




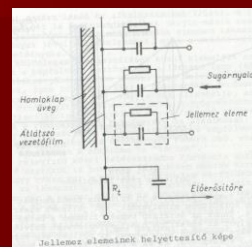
Képfelvevő eszközök

- Analóg katódsugárcsöves kamerák
 - Fekete-fehér: csak Y-ra érzékeny
 - Színes: 3 darab ff letapogató cső, színszűrők után szintén Y-ra érzékeny.
- CCD (egy vagy több chipes, manapság 3CCD): töltéscsatolt eszköz
- Cél: nagy érzékenység, jó felbontás, nagy jel-zaj-viszony, egyenletes spektrális érzékenység
- Nem stúdiócélú (megfigyelő kamera) gyengébb követelményeknek felel meg.
- Különleges kamerák: IR, UV, röntgen.

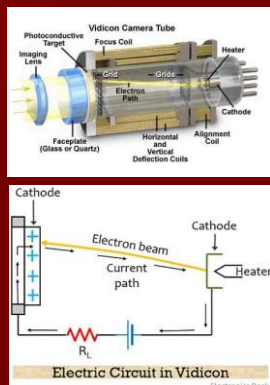
- Elv: optikai lencsével leképezett kicsinyített kép egy fényérzékeny anyaggal bevont felületre esik. Ez a ráeső fény mennyiség (megvilágítás) arányában változtatja vezetőképességét (Vidikon).
- A homloküveg belső felületén átlátszó, villamosan jól vezető réteg van, ami kapcsolódik a körkörös jellemez-elektrodához. A vezetőfilm belső oldalán egyenletesen felvitt a fényérzékeny anyag van, mely fény hatására egyre jobban vezetővé válik.



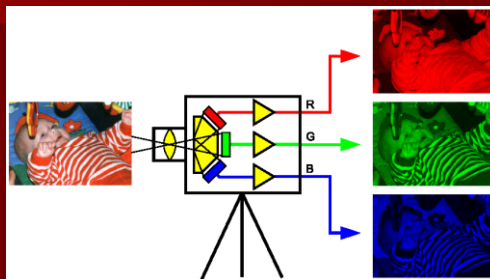
- A fényvezető réteg modellje: pixelek = sok kis kapacitás és párhuzamos ellenállás sorozata. R_t értéke változik a megvilágítással. A cső belsejéből folyamatosan pásztáz egy elektronsugár.
- Az R_t munkaállomás kis pozitív feszültségen van.
- Az elektronsugár elektronjai feltöltik a katód feszültségére a kapacitásokat.
- Sötétben a réteg nem vezet (szigetel), két pásztázás között „nem történik semmi”, az ellenállásokon csak kis áram folyik le. Ezt a kis veszteséget pótolja az elektronsugár. Ez az ún. *sötétáram*.



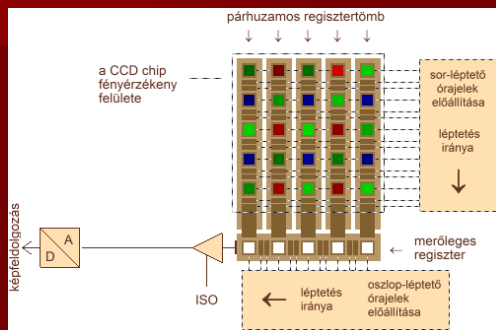
- Ha fény éri valahol a réteget (pixel), ott jobban fog vezetni az R ellenállás, melyek (jobban) kisütik a kapacitásokat. Így a potenciálképe az optikai képre „hasonlít”.
- A pásztázó sugár elektronjai kiegyenlítik a pozitív töltéseket és visszaállítják az eredeti katódpotenciált. A jellelektrodán a kapacitások ezzel egyidőben áramot hajtának át, feszültség fog esni a munkaellenálláson. Ez a *videójel*.
- A pásztázáskor a legvilágosabb részek is feltöltődnek teljesen újra mindig a katódpotenciálra (stabilizált cső).
- <https://www.youtube.com/watch?v=ir3pWwJyAxs>



RGB kamera = 3x Y kamera

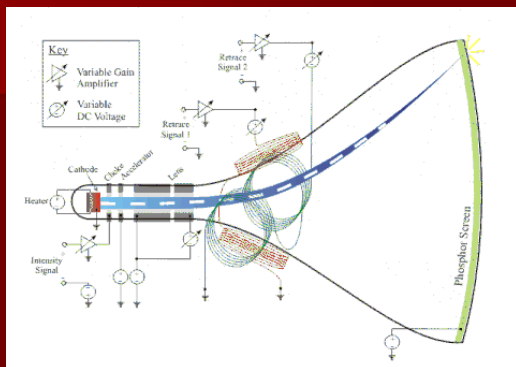


CCD



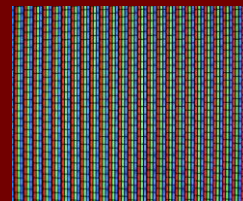
Katódsugárcső az analóg televíziókészülékben

- Mágneses eltérítésű elektronsugár.
- A felforgatott elektronsugár egy megfelelően változó mágneses térrel halad át, amitől irányát változtatja és a képernyő adott pontjába csapódik be.
- A becsapódáskor a sugár intenzitásától függ a fénypor kibocsátott fénysűrűsége (Y).
- A sugár „szinkronban” mozog a kamerával és pontról-pontra ugyanazt hozza létre: szinkronjelek kellenek az átvitelbe!
- Túl nagy képernyőt nem lehet létrehozni: nagy volna az eltérítés, a készülék is nagy, nehéz.
- Plazma TV: ugyanaz a foszfor (színpor), de nem elektronsugár, hanem plazmaállapotú nemesgázkisülés gerjeszti: lapos készülék, nagy képátló lehetséges.



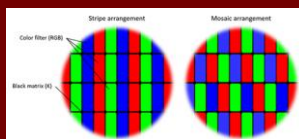
Színes kép

- Egy pixel = 3 kis pixel (RGB), kellő távolságból nem látjuk őket különbözőnek, hanem a szemünk elvégzi a színkeverést.
- Elv: a szem akkor érzékel két fénypontot (pixel) különbözőnek, ha azok eltérési szöge minimum 2 ívperc (f), ill. színes képnél 10 ívperc.
- (5x rosszabb a színes képre a szem felbontása!)
- Baj: sötét kell hozzá, hogy jól látszódjon, nagy kontrasztigényű.
- Ezért a legfejlettebb analóg készülékek árnyékmáskos (lyukmaszk, mátrix) eljárást használnak: „black matrix”.



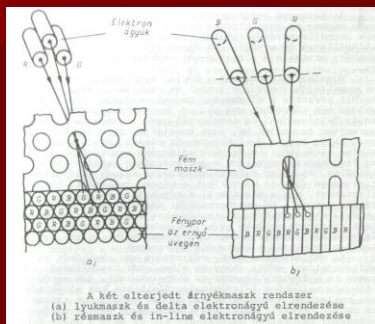
A Mátrix-eljárás:

- A fényporkörök ill. csíkok közötti részt feketére festik (elnyeli a fényt).
- Eredmény: fénysűrűség nő, kontraszt nő, mert a külső szórt fény elnyelődik.
- Normál képernyő üvege 50% áteresztésű, amin a külső fény kétszer, a belső csak egyszer halad át: ez a kontraszt biztosítása.
- Mátrix képernyőnél a megnövelt kontraszt miatt a homloküveg áteresztése megnövelhető: 50-100% fénysűrűség javulás érhető el eredőben.

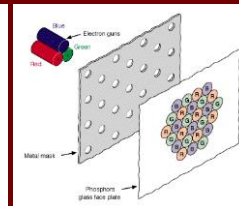


- Három elektronágyú: minden alapszínhez egy.
- Közvetlenül az ernyő előtt egy árnyékmásk van.
- A lyukak rajta úgy vannak kialakítva, hogy adott ágyú csak az adott lyukon át tud áthaladni és a neki megfelelő színű képpontot gerjeszti.
- Mikrométer pontosság!
- Deltacső elavult, nehéz a beállítás, elállítódik. Itt kóralakúak a fényporszemcsék.
- In-line: igénytelenebb, ezért jobb. Szintizációs hiba kevesebb.

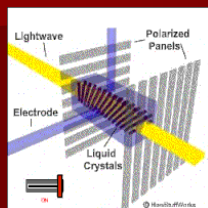
■ A lyukmaszk (deltacső) és a résmaszk (in-line) elrendezés



glexperiments.blogspot.com



LCD, LED



- LED: mint az LCD csak más a fényforrás: RGB LED vagy fehér Edge LED
- QLED: quantum dot technology, járulékos réteg van a LED háttérnyű panel előtt. Minden pixel önmagában sugároz.
- OLED: organikus, magában sugárzó pixelek, nem kell háttérfény

■ <https://animagraffs.com/wp-content/uploads/flat-panel.gif?v=2>

QLED TV



QLED (Samsung Q7R)

WHAT IS QLED?

QLED is a marketing name used by Samsung to describe their newer LED TVs. They use traditional LCD panels lit using LEDs. Between the LCD layer and the backlight, a filter with energy reactive nano-particles filters the light to produce more pure and saturated colors.

Who should buy it: Those looking for the best colors available.

OLED TV



OLED (S.G. 96)

WHAT IS OLED?

OLED TVs are TVs that can adjust the luminosity of each of their pixels individually. This allows them to turn them completely off and show pure blacks and infinite contrast. This gives them exceptional picture quality.

Who should buy it: Everyone that can afford it, except if slight image retention and changes in brightness are a deal breaker.

LED TV



LED (Samsung K8000)

WHAT IS LED?

LED stands for "Light Emitting Diode". LED TVs are traditional LCD panels backlit using LEDs. Recent high-end LED TVs use a very similar light filtering plane as QLED TVs which helps them produce a wide color gamut.

Who should buy it: Most people looking for TVs today. LED TVs offer the best value and can be found in a very wide range of sizes.

OLED
ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE
Hisense LG SONY

The Tech:
Can turn off individual pixels
LEDs produce light - no backlight required

What This Means:
True blacks and vivid colours
Wide colour gamut
Lower energy consumption
Thinner screens
High contrast ratios
Unlimited viewing angles
Faster refresh rate

Additional Features:
Cinema HDR
Dolby Atmos sound

QLED
QUANTUM DOT LIGHT-EMITTING DIODE
cello SAMSUNG

The Tech:
Uses red and green quantum dots + blue LEDs
HDR (all new models)

What This Means:
More accurate, saturated colours
Wider colour gamut (better colours)
No image retention (100,000 hours guarantee)
High contrast ratios
Fast motion response time
High peak brightness
Low energy consumption

Additional Features:
Smart features including Voice Assistant
Ambient Mode

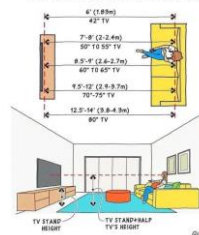
ULED
ULTRA LIGHT-EMITTING DIODE
Hisense

The Tech:
20 patented technologies across four areas
Quantum dots

What This Means:
Ultra Wide Colour Gamut
Ultra Local Dimming
Ultra 4K Resolution
Ultra Smooth Motion Rate
Vivid colours, clarity and contrast
Longer lifetime
Smoother, fluid picture quality

Additional Features:
HDR
Prime Ambient Backlight

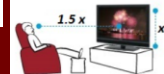
TV VIEWING DISTANCES



For 4K models

Recommended distance for viewing 4K TV is 1.5 times of the TV vertical screen size.

TV Size	Viewing Distance Range (Approx.)
43 inch	90 cm / 2.95 feet
49 inch	1 meter / 3.28 feet
55 inch	1 meter / 3.28 feet
65 inch	1.2 meters / 3.94 feet
75 inch	1.4 meters / 4.60 feet
85 inch	1.6 meters / 5.25 feet



Analóg képátvitel

- Kisugárzásra kerül analóg technikában az Y világo sságjel és az R-Y ill. a B-Y jelek erre ráültetve, kompozit modulált jelként.
- Színes képhez analóg QAM moduláció kell, színsegédvívökkel. Az antennából minden kijön, a ff-televízió a színinformáció nagyfrekvenciás zavarként jelentkezik. A cél, hogy ez minél kevésbé legyen látható!
- Digitális átváltás: nem érdekel a kompatibilitás, leállítjuk az analóg adókat. Hosszú idő és kormányilag támogatott eljárás volt mindenhol.

Fekete-fehér műsorszórás

- A ff képben egyetlen elektronsugár és azonos ún. akromatikus ernyő (fénypor) van.
- Átvitel során a képet apró képelemre (pixelre) osztjuk fel és azokat *sorszekvenciálisan* (időben egymás után rakva) továbbítjuk, soros átvittel: 2D → 1D.
- 4:3 képhez a szokásos, szükséges felbontás 600 sor*800 oszlop. 20 fokos szög alatt nézve már nem látszanak a sorok, hanem egybeolvadnak. A PAL kép 575 aktív sorból áll.
- A villogásmentességhez át kell lépni a fúziós frekvenciát (50-60 Hz).
- Sávszélesség (600 sornál): a legnagyobb frekvenciájú TV-jel a fekete pont-fehér pont sorozat (0101...). A normál képtartalom ritkán lépi át a 3 MHz-et.

$$f_{\max} = \frac{1}{2T_{\text{pixel}}} = \frac{1}{2 \left(\frac{1 \text{ sec}}{25 \cdot 4,8 \cdot 10^3} \right)} = 6 \text{ MHz}$$



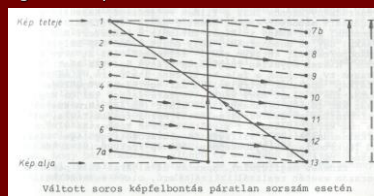
Fúziós frekvencia, villogás-elhárítás

Megvalósítás:

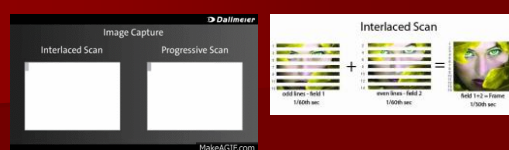
- 50-60 Hz a villogásmentességhez kell, régi mozi: 24 fps
- Moziban ugyanazt a képet vetítük ki többször a villogás elkerülése érdekében (forgó tárcsás). Kezdetben ehhez a tévében nem volt kellően nagy tároló.
- Váltott soros letapogatás (interlace) vs. progresszív (PC, projektor).
- Sorparosodás (hiba): amikor nem a megfelelő helyre rajzoljuk, hanem az előző sorra a következő sort.



- Váltott soros képfelbontás:
- Példa páratlan sorszám (13), melyek ferdék, hiszen függőleges és vízszintes eltérítés egyszerre működik. A valóságban ez nem vehető észre több száz sornál.
- Az 1, 2, 3... sorok között „üres sor marad”. A hetedik a felénél felugrik és fejeződik be a kép tetején.
- A 8. sor pontosan az 1 és 2 sorok közé illeszkedik. A 13. sor végén vízszintesen és függőlegesen is fel kell ugrani a kép bal felső sarkába.

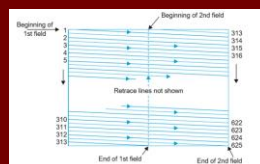


- Így másodpercenként kétszer annyi felvilánást látunk, azaz egy kép két félképből áll:
VÍZSZINTES FELBONTÁS FELEZŐDIK, sávszélesség marad!
- Ez csak páratlan sorszámú egyszerű. Páros sornál a felugrás a bal felső sarokba pont ugyanarra a sorra rajzolná az újat, ezért azt le kell tolni egy sornival: eltérő ugrásokat kéne végrehajtani, ez technikailag nehezebb lenne.
- LCD, plazma TV-k progresszívek, ahogy a DVB adások is.



https://www.youtube.com/watch?v=5eu_KjKsnpM&t=236s

Comparisons	
Interlaced Scan	Progressive Scan
Application: Analog cameras	Application: Digital cameras
Scanning: Alternate order	Scanning: Sequential order
Requires time to produce a frame	Transforming a frame at once
Refresh time: 1/50 s	1/60 s
Output: Standard televisions	Computer-based systems
Blurry moving object	Better moving object images
Need only half of the bandwidth	No flicker
Must be de-interlaced before it is stored	Higher vertical resolution is stored



Progresszív megjelenítőn látható interlace kép (de-interlace szükséges)



PAL és NTSC rendszerek

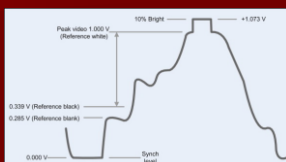
Néveleges értékek:

	Európa	USA, Japán
Sorszám	625	525
Hálózati frekvencia	50	60
Képfrekvencia	25	30
Félpép frekvencia (függőleges eltérítés)	50	60
Sorfrekvencia (vízszintes eltérítés)	$625 \cdot 25 = 15625 \text{ Hz}$	$525 \cdot 30 = 15750 \text{ Hz}$

- 625 sorhoz 40 ms kell (575 aktív sor van csak)
- Régebben a brumm miatt a konnektorhoz szinkronizálták a képet, így nem volt zavar. Újabbban már ezek nincsenek kapcsolatban.

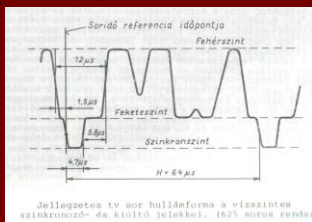
Videójel dinamikataromány

- 70% az Y, 30% a szinkron része (manapság nem kéne 30% erre, de a színes tévé kompatibilitás miatt ezt használja).
- Szinkronjelek megkülönböztetése az időbeni hosszuk alapján történik:
 - sorszinkron rövid 5 μs ,
 - félképszinkron hosszú, 2,5H=160 μs hosszú, ahol H=soridő (64 μs).



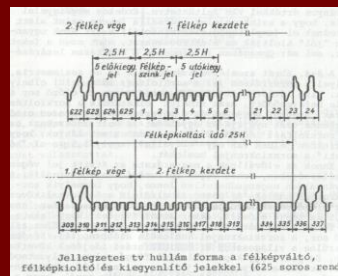
- Fekete-fehér tévé egyetlen hasznos jele a gamma-előtorzított Y világosságjel: Y'
- Y=0% fekete, Y=100% fehér, közöttük szürkiskála.
- Szükség van még a „helyzetinformációra”, hogy hol van a képpont: minden tv sor eleje van megjelölve *sorszinkronjellel*.
- Továbbá: a sugarat ki kell oltani a visszafutási idők alatt, meghozza a leglassabb tévé készülék idejéhez igazítva.
- A félképeket is *félképszinkronjellel* kell megjelölni. Ezzel szinkronizáljuk a függőleges eltérítést a kamera és a TV között.
- Ezek a visszafutási (képkioztási) időkben lesznek elhelyezve.

- Szinkronjelek és sorkioztás
- Megállapodás: a sor kezdete a sorszinkron jel homlokának 50%-os pontja
- A szinkron jel 4,7 μs << a visszafutás tényleges 12 μs sorkioztási ideje.
- A szinkronjel csúcsai a fekete szint alatt vannak, melyek „kioztják” a sugarat és amplitúdó-diszkriminációval könnyen szétválaszthatók.
- A sorszinkron jelnek van egy 1,5 μs előválla, amely késlelteti a sorszinkronjel homlokát. Oka a jel véges sávselessége, a véges felfutási idő. Muszáj minden jelnek 64 μs -ra lenni egymástól és ez nem függhet attól, hogy az előző sor milyen színnel végződött. Az előváll ideje alatt a jel szintje biztos eléri a feketét és nem modulálja meg a képtartalom a szinkronjeleket.
- A hátsó váll 5,8 μs , a maradék a 12-ből.



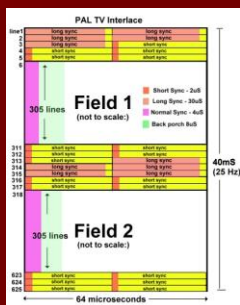
Félpépváltási idő az időtartományban (PAL)

- Minden félpép kezdetét egy 2,5H=160 μs széles jelrészlet jelzi.
- A félképszinkron alatt bár nincs képrajzolás a sorszinkron nem veszt el.
- Megoldás: megszagattják sorfrekvenciás ütemben a félképszinkron jelet. A valóságban kétszer gyorsabban történik ez.



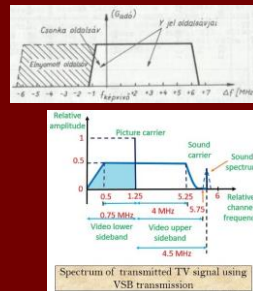
PAL időzítések

- Kiegyenítő jelek: öt előtte és öt utána (mindegyik meg van szaggatva): összesen 7,5H idő lesz arra, hogy a különbségek kiegyenlítődjenek a félképváltáskor.
- Az aktív képnek a 623-ban van vége, a 624 és 625 üres (23-ig), azaz 25 soridő marad ki félképenként: összesen 625-50=575 aktív sor van képenként.
- A 623 és 23 sor rajza „feles” ezek felsorok (első sor/1 félkép és utolsó sor/2.félkép).
- Üres sorok 7-20-ig: TXT jel vagy vizsgálójelek. A műsor alatt figyelhető a torzítás az adóban.



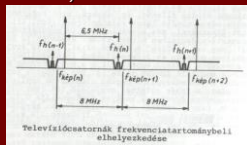
Moduláció

- Antennával való kisugárzás és/vagy kábeles, műholdas továbbítás
- Vivő hullám + moduláló jel (információ) együttesen alkotja a modulált jelet
- Vivő = szinuszos jel: AM-VSB
- Vevő: demodulátor, ami visszaalakítja
- Következmény: a frekvenciatartományban „áthelyeződik” az alapsávi jel spektruma (felkeverődik)
- Minél nagyobb az alapsávi jel sávszélessége, annál nagyobb vivőfrekvencia kell
- Színés tévénél majd: két vivő, egymásba ágyazott moduláció



TV csatorna beosztás

- A hanghoz külön vivő van.
- A K és D szabvány FM hangot használ, a vivő a képvivőhöz képest +6,5 MHz. A képpel 6 MHz-es. A csatornák 8 MHz (UHF sávban).



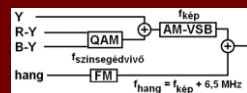
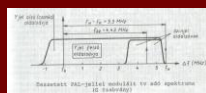
- A B és G: 5,5 MHz a különbség a két vivő között. 5 MHz a képpel sávszélessége.
- Az USA-ban csak 4,5 MHz a különbség (M szabvány), képsávszélesség csak 4 MHz, a csatornák 6 MHz-esek.
- VHF sáv: I-II-III: 48...230 MHz
- UHF: IV-V: 470...860 MHz (8 MHz csatornák)

Analóg színes TV

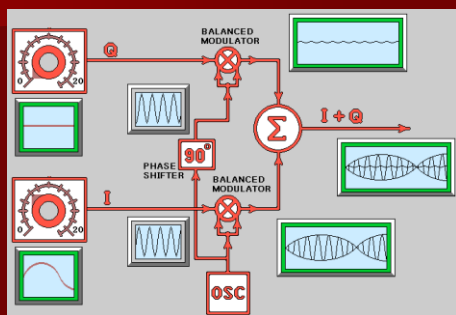
- Kompatibilitás fontos: a meglévő készülék a színés adást ff-ben vegye, a színés készülék a ff adást ff-ben vegye.
- Analóg technika még marad a regionális földi adóknak, ill. kábeltévé hálózatokon.
- Adott szín fényssűrűsége: $Y=0,3R+0,59G+0,11B$.
- Okok a színkülönbségi jel átvitele mellett:
 - Sávszélesség: 6 MHz kell Y-nak az éles ff képhez, de csak 1-2 MHz a színek, ami nem olyan éles.
 - ff képnél a színjelcsatorna nem terhel, ff képnél semmi színinfót nem kell átvinni (egyszerű szűrővel szétválaszthatók).
 - Y-t mindenképpen át kell vinni a ff tévének (kompatibilitás).
- Három (mára már csak kettő) fontos rendszer:
 - NTSC: National Television System Committee (Never The Same Colour :)
 - SECAM: francia „memóriát tartalmazó szekvenciális rendszer”
 - PAL: Phase Alternation Line, soronként fázisváltogatásos rendszer.

Színsegédvivők

- Ötlet: Az Y jel mellé tegyük be az R-Y és B-Y jeleket
- A sávszélesség marad 6 MHz, de „normális” képeknél általában Y csak 3-4 MHz széles: marad hely mellette
- A színkülönbségi jelek 0,5-2 MHz bepréselődik
- Járulékos moduláció: analóg QAM, amely egy vivővel két független jelet tud átvinni, ha szinuszos ill. koszinuszos fázisú
- A két független moduláló jel a két színkülönbségi jel
- PAL és NTSC nem teljesen ugyanaz, de elvben igen
- Beágyazott moduláció

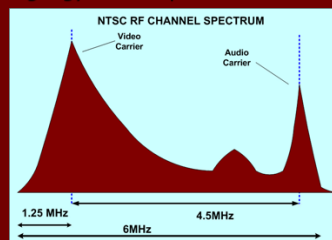


Analóg QAM (I-Q) modulátor

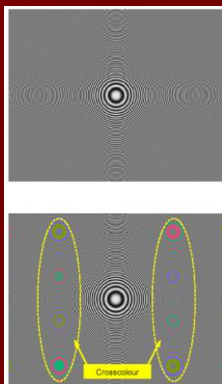


NTSC rádiófrekvenciás spektrum

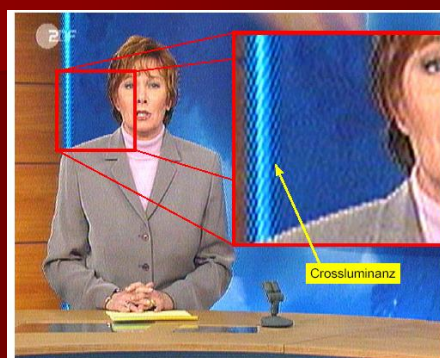
- A spektrum a vivő környezetében tartalmazza a legnagyobb komponenseket



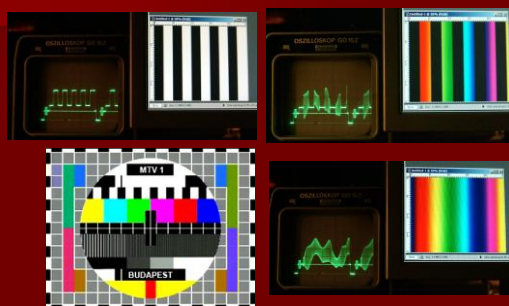
- A segédvívó Y jel zavaró hatása (interferencia) gyakorlatilag elhanyagolható, habár a helyzet nem ideális, mert pl. a PAL rendszerben a dekóder képtelen tökéletesen megkülönböztetni a színjelet és az Y jel azon részét, amely a segédvívó környékére esik.
- Ily módon a dekóder színjelként kezelheti az Y jel egy töredékét, ami zavaró hatású interferenciához vezet (*cross colour*).
- Ez különösen akkor érezhető, ha a kép függőleges irányú csíkokat tartalmaz, amelyeknek a frekvenciája összemérhető a segédvívó frekvenciájával (pl. csíkos ruha).



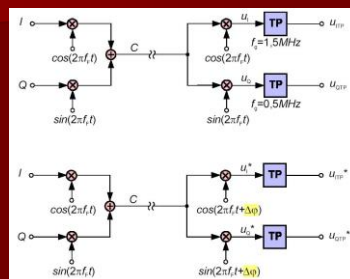
Cross-Luminance



Mérőábrák

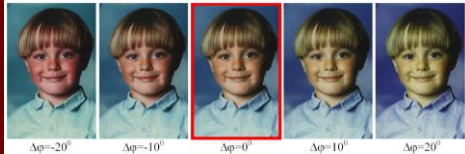


Demoduláció hibamentesen és fázishibával



Hibaforrás

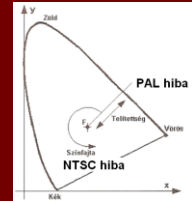
- Mint minden kvadrátúramoduláció, így az NTSC színeje is igen érzékeny a fázishibára, hiszen a vevő szorzódemodulátorai csak akkor tudják a nem kívánt összetevőt elnyomni, ha a szorzójel fázisa pontosan merőleges a nem kívánt kvadrátúra-összetevő fázisára.
- A modulátorhoz tartozó oszcillátor az adóban van, a demodulátoré a vevőben!
- Fázishibát tud okozni egyebek között a vevőben levő PLL áramkör vagy az átviteli út szintfüggő fázistorzítása (differenciális fázis).
- Hue Control: NTSC-ben a színeket állítgatni kell: never the same colour...



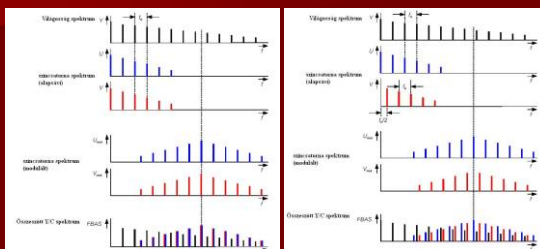
- PAL: ezt kiküszöböli!

PAL

- Lényegében továbbfejlesztett NTSC
- Módosított QAM
- PAL (és a SECAM) feltétele az olcsó soridejű késleltető művonal (analóg memória, digitális memória)!**
- NTSC baja: fázishiba -> szín változik (a szög elfordul)
- A soronkénti fázisváltogató QAM ezt kiküszöböli: a két kvadrátúra összetevő egyikének fázisát soronként invertálják. Ezzel az esetleges 20-30 fokos fázishiba sem okoz színtorzulást. Egy adott $\Delta\phi$ fázishiba a QAM jelvektor hosszát csökkenti ($\cos \Delta\phi$ -vel), az irányszöget nem befolyásolja. A színezet marad, a telítettség csökken, ez a szemnek jobb.



NTSC és PAL spektrum

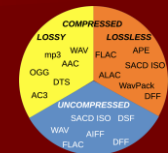


	NTSC	PAL
Abbreviation	National Television System Committee	Phase Alternation by Line
Video Bandwidth	4.2 MHz	5.0 MHz
Sound Carrier	4.5 MHz	5.5 MHz
Bandwidth	6 MHz	7 to 8 MHz
Vertical Frequency	60 Hz	50 Hz
Horizontal Frequency	15.734 kHz	15.625 kHz
Color Subcarrier Frequency	3.579545 MHz	4.433618 MHz
Lines/Field	525/60	625/50

Digitális hang- és képtechnika

- Mostantól csak digitális technika

- Hangkódolás (1D): PCM hang (tömörítetlen) és tömörített (vesztésgmentes pl. FLAC; és a veszteséges pl. MP3)

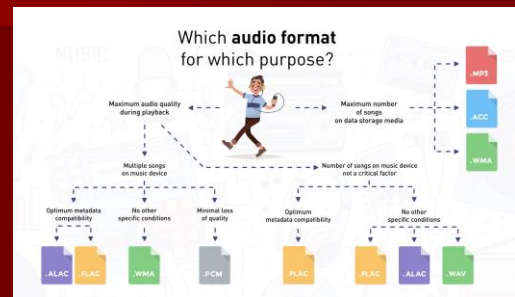


- Képkódolás (2D): BMP állóképek, veszteséges tömörítésű álló- és mozgóképek

- Rengeteg fájlformátum
- Raszter (pixel) vagy vektor alapúak
- Mozgóképek?



Hangformátumok

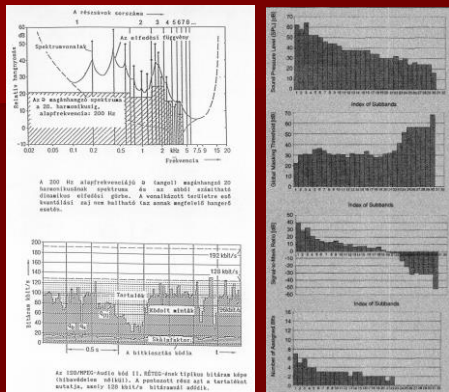
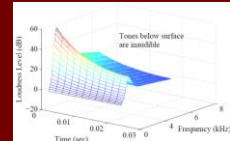
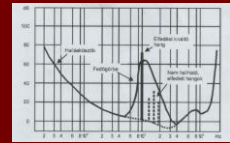


Zenei hangok forráskódolása

- A mozgókép sebességigénye túlságosan nagy ahhoz, hogy praktikus, olcsó hordozón rögzítsük és/vagy kisugázzuk kerüljön a műsorszórásban. Ez részben igaz a hangra is (kísérőhang, többcsatornás stúdiófelvételek).
- Tömörítés: *vesztéssel* (lossy coding) vagy *vesztésmentesen* (lossless coding). Utóbbi sokkal jobb minőségű, hiszen visszaalakításkor nem vesz el információ, azonban maximum 50% körüli tömörítés érhető el. Ha ennél nagyobb szeretnénk (80-90 %), akkor vesztéssel tudunk csak tömöríteni, ami a minőség romlásához vezet(het).
- Leggyakoribb példa: MPEG: szabványos tömörítési eljárások képre, hangra, amely lehetővé tették a digitális televíziózást és a DVD elterjedését ill. utódaik létrejöttét.
- A feladatokat és az eredményeket is felosztották csoportokba és rétegekbe (ún. Layer-ek), amelynek során kialakult az MPEG-1, később az MPEG-2 szabvány, ami manapság mindennek az alapja.
- Vesztéses = pszichoakusztikai = észleti = forráskódolás.

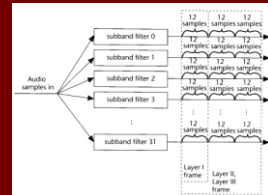
MP3 és társai - alapok

- Alap: elfedés (masking) a frekvenciatartományban, részben az időtartományban.
- A jel pillanatnyi spektruma határozza meg az ún. dinamikus elfedési görbét az adott részsávban és időablakban (időben folyamatosan változik).
- Részsáv-kódolás (subband coding):**
 - A jelet frekvenciasávokra osztjuk
 - Ha egy részsáv elfedésre kerül: nem kell átvinni (0 bitet kap)
 - A maradék komponensek, amelyek nem kerülnek teljesen elfedésre: kevesebb bitet kapnak és így (rekvantálás)
- A bitszám csökkentés eredménye a kvantálási zaj megnövekedése, a nem lineáris torzítási komponensek megjelenése, amely addig alkalmazható, amíg azok elfedésben maradnak és nem hallhatóak.
- A „pszichoakusztikus modell” a lényegi, de titkos része a folyamatnak



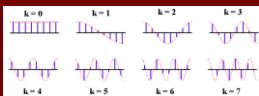
A bit újrakészítés (rekvantálás)

- Csonkolás felülről: a leghangosabb minta határozza meg. Normálás = scaling következik be minden részsávban. Ez nem visz hibát bele.
- Csonkolás alulról: elvesző bitek okoznak torzítást. Az átskalázott minták
- A skálafaktorokat át kell vinni.
- A kimeneti bitsebesség az egyetlen vezérlő paraméter.
- mp1-nél 12 minta egy részsávban, összesen $32 \times 36 = 384$.
- Ezt minden 8-24 ms időablakban el kell végezni



Transzformációs kódolás

- Új reprezentációs térben kevesebb a redundancia és/vagy ottani manipuláció egyszerűbb, hatékonyabban ábrázolható (lényegében a Fourier-t. is ezt jelenti)
- A természetes képek pixelei ill. hangfelvételek mintái között erős a korreláció, nem változnak gyorsan, ez a kapcsolat kihasználható
- Ha a transzformálás utáni együtthatók közötti korreláció a transzformált tartományban nulla, akkor a transzformáció optimális
- A gyakorlatban ún. „fix bázisú” transzformációkat alkalmazunk, amelyek szuboptimálisak, de a valós idejű jelfeldolgozáshoz alkalmasabbak
- Pl: Diszkrét Koszinusz Transzformáció (DCT – lásd később részletesen képtechikában), vagy a KLT (Karhunen-Loeve)



1D DCT és IDCT

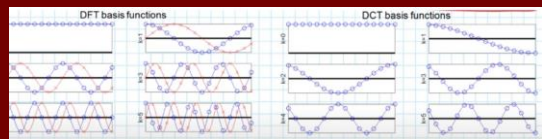
$$X(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \alpha(k) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left[\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{k\pi}{N}\right] \quad k = 0, \dots, N-1$$

$$x(n) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \alpha(k) X(k) \cos\left[\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{k\pi}{N}\right] \quad n = 0, \dots, N-1$$

$$\alpha(k) = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{ha } k = 0 \\ 1 & \text{ha } k \neq 0 \end{cases}$$

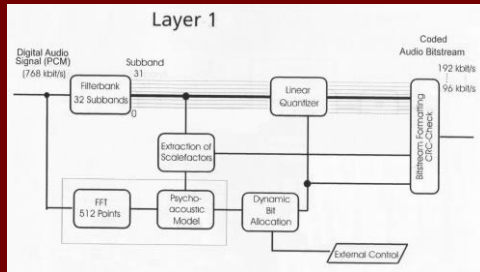
DCT

- DFT komplex (cos és sin), a DCT valós kimenetű, csak cos
- Nincsenek negatív frekvenciák
- DCT-nek 2x annyi koefficiense és alapfüggvénye van
- DCT 2 = MDCT, kicsit módosított változat audio coded számára
- DFT periodikussá teszi a jelet, akkor jó, ha folytonos a jel, nincs szakadás, különben egy kisfrekvenciás jelben megjelenik nagyfrekvenciás tartalom. DCT-folytonossá teszi.

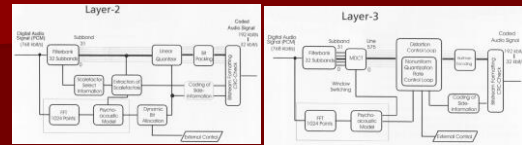


mp1, mpa

Blokkdiagram:



mp2, mp3



MP2: FFT pontosabb, nem 12, hanem 36 minta van egy részsávban ($36 \times 32 = 1152$ összesen), három részre osztva, mindegyikhez külön skálafaktor.

Az mp3 hibrid kódoló: részsáv és transzformációs kódolás is (MDCT pontosabb, kvantálás nem csak egyenletes lehet).

A „bit packing” helyett egy Huffman-kódoló szerepel. Ez a kódoló a fix kódszavak helyett változó hosszúságú szavakat használ: a gyakrabban előfordulókat rövidebb, a ritkébbakat hosszabb kódszóval írja le.

A torzításvizsgáló-hurok visszacsatolással ellenőrzi, hogy a lett-e torzítás vagy nem: ha igen, visszaléphet egy csomólási lépést.

- Az MP3 blokk az alábbi tagokból áll:
Címke (12 szinkron bit + 20 bit adat)
CRC
Bitkiosztás információ
SCFS (ha van)
Skálafaktorok (6 bit)
Rész-sáv-minták
- Az MP3 címkéjében van az ID tag, layer info, bitrate, sample frequency stb. Nagyobb bitsebességhez nagyobb fájl fog létrejönni.
- Torzítás ellen: ha pl. 128 kbps-al dolgozunk, de egy adott időablakban szükség lenne a torzítás elkerülésére 160 kbps-re, akkor a hiányzó információt be tudja pakolni oda, ahol viszont csak 96 kbps-re van szükség.

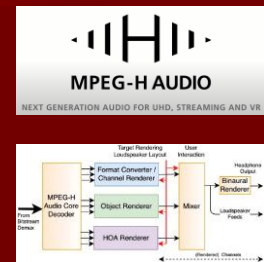
Teszt! Jó fejhallgatóval érdemes:
<https://www.npr.org/sections/therecord/2015/06/02/411473508/how-well-can-you-hear-audio-quality>

MP1-2-3 blokk formátum

Header	CRC	Bit allocation (15-16)	Scale factors (129-256)	Samples	Auxiliary data
Header	CRC	Bit allocation (24-188)	SCFS (0-40)	Scale factors (0-1080)	Samples
Header	CRC	Side information (1-16, 256)	Main data, not necessarily linked to this frame		

MPEG-H Audio

- Perszonalizált audio:
- Sokcsatornás mix személyre szabása (pl. fókuszkommentár hangosítása/némítása)
- Megnövelt kezelhetőség: csatornák térbeli helyzetének (irányok) változtathatósága
- Lehet csatornalapú, objektumalapú
- AR/VR támogatás
- 4K-ban 2017-től
- Open source format

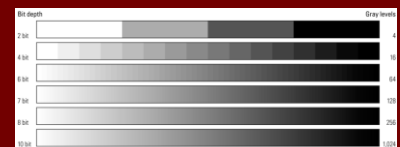


Sound File Formats

Audio Format	File Extension	Advantages	Disadvantages
AAC (Advanced Audio Compression)	.aac	Very good sound quality; compressed format, used on iTunes music download site	Files are copy protected and use is limited to approved devices
AIFF (Audio Interchange Format)	.aif	Excellent sound quality; supported in browsers without a plug-in	Audio data is stored in raw, uncompressed format, so files are very large
MP3 (also called MPEG-1 Layer 3)	.mp3	Good sound quality even though the file is compressed; can be streamed over the Web	Requires a standalone player or browser plug-in
RealAudio	.ra, .rx	High degree of compression produces small files; data can be streamed over the Web	Sound quality is not up to the standards of other formats; requires a player or plug-in
Wave	.wav	Good sound quality; supported in browsers without a plug-in	Audio data is stored in raw, uncompressed format, so files are very large
WMA (Windows Media Audio)	.wma	Compressed format, very good sound quality; used on music download sites	Files can be copy protected; requires Windows Media Player 9 or above

Digitális képfeldolgozás

- Először fekete-fehérről foglalkozunk (greyscale = szürkeárnyalatok)
- A képet 2D-ban felosztjuk oszlop/sor felbontásban pixelekre, és minden pixel kap egy világosságértéket.
- PCM mintasorozat: pl. 8 biten 0=fekete, 255=féhér, közötté 254 szintű szürke.
- Kérdés: mennyi bittel kell leírni a kép pixeleit, hogy a szem a szürkeskála helyett árnyaltos képet lásson? Már 64 szint (6 bites) is elegendő.

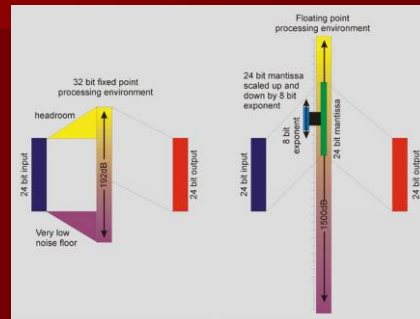


PCM kódolás

- Színes kép esetén a három alapszín komponenssel is dolgoznunk kell, az R, G és B jeleket egyenként le kell írni egy-egy kódszóval. Látható, hogy egy 800*600 pixeles monokróm kép mérete is 8 bites kvantálás mellett 3840000 bitet tesz ki.
- Ha kevesebb bitet használunk, akkor adatmennyiséget csökkentünk (tömörítünk) de rontunk a minőségen. Ha csökkentjük a bitszámot, akkor a példában lévő nyolcbites kódszónak a legkisebb helyértékű (LSB: Least Significant Bit) bitjét, bitjeit hagyjuk el (nullára állítjuk).
- PCM kódolt kép = BMP (mint a WAVE fájl a hangban): nagy méret!
- Színmélység: 3*8 bit = 24 bites „true color”. A 32 bites rendszer csak 24 bites valóságban.
- Tömörítés:
 - Veszteségmentes
 - DPCM
 - ZIP/RAR
 - Veszteséges
 - PI. JPEG

Color Mode	Color Depth	Number of Colors
HiColor	15 Bit	32.768
	16 Bit	65.536
Direct Color	18 Bit	262.144
	21 Bit	2.097.152
True Color	24 Bit	16.777.217
Deep Color	30 bit	1,07x10exp9
	36 bit	68,7x10exp9
	48 Bit	281x10exp12

32-bites rendszerek



- Ha a nyolcból bitből hetet csinálunk, akkor már csak fele annyi kvantálási lépcsőnk van, azaz a felbontás máris a felére csökkent a színskálán!
- Ennek következménye, hogy bizonyos folytonosabb kontúrátmenetek eltűnnek, és helyettük újak, élesebbek jelennek meg.

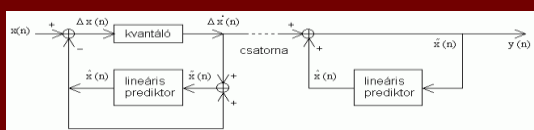


Egybites kép különböző felbontásban

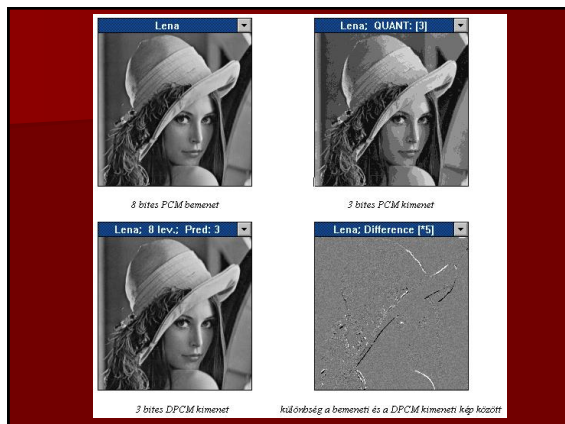


- A PCM kódolók nem használják ki azt a tényt, hogy „normális” jelek esetén a szomszédos minták egymással korreláltak.
- A DPCM kódoló (Differential PCM) a differenciát, a különbséget átvitelén és tárolásán alapul. Ilyenkor nem az átvendő minta (pixel) értékét kódoljuk, hanem csak egy ún. hibajelt. Ez a hibajel egy predikció, előrejelzéses becslés eredménye.
- Az aktuális (átvitelre szánt) minta értékét megbecsüljük az öt megelőzőből (vagy környezetéből).
- Minél több, távolabbi mintát használunk fel a becslésre, annál jobb lesz a minőség és annál több számítási időt fog igénybe venni. (Többféle predikciós eljárás is létezik.)
- Kvantálásra és átvitelre ekkor a „predikciós hiba” kerül, nem pedig az adott minta.
- A vevő oldalon rendelkezésre állnak azok a már korábban átvitt és helyreállított minták, amiből a predikció az aktuális mintára készült, valamint az aktuális hiba – ezek összegéből a minta helyreállítható.

DPCM



- A legegyszerűbb esetben a becslés legyen egyenlő az előző pixel értékével (a tőle balra esővel). Ha annak világosságértéke 200, feltételezzük, hogy a következő is valami ehhez közeli érték lesz, tehát mindenféle becslő-algoritmus nélkül legyen az is 200. A kódoló megvizsgálja az adott mintát, és annak tényleges értékéhez képest kiszámítja a hibát. Ha a következő minta tényleges értéke 202, akkor 202-200=2 lesz a becslési hiba. Ezt a kettős értéket pedig két biten át lehet vinni, ellentétben a nyolcbites tényleges mintaértékkel. A vevőben a helyreállítás egyszerű: a predikciós algoritmust az is ismeri, tehát tudja, hogy az előző mintából kell a hibát összeadni (vagy kivonni), így a beérkező „2” és a saját predikciójából adódó „200” értékből egyszerű összeadással a 202-t helyre tudja állítani.
- DPCM esetén két hibával kell számolnunk a rekonstrukciónál:
 - Ha a bemenő jel túl gyorsan (nagyon) változik, a kvantáló nem fogja tudni követni azt. Ha a fenti példát nézve egy állandó 2 bites kvantálás használunk a hibára, de annak értéke átlépi a hármat (0,1,2 és 3 kódolható két biten), akkor is három fog átmenni, ha a valóságos hibáérték 12 – ez pedig megjelenítési hibához vezet. Ehhez ugyanis négy bite lenne szükség.
 - Ellentétben a PCM kódolással, az esetleges bithibák itt „öröklődnek” és magukkal viszik a predikciós folyamatban pixelről-pixelre (error propagation) nem csupán az adott megbecsült pixel romlik el, hanem azok is, amelyekre majd ebből fogunk predikálni. Ez a képen erősebb „foltosodásban” mutatkozik meg, ellentétben a PCM képek apró pixelhiba-pöttyeivel.



- A DPCM kódolás alapjában veszteségmentes eljárás. Amennyiben új kvantálást nem alkalmazunk, csak kódolást, akkor az eredeti mintaérték hibamentesen visszaállítható a predikált értékéből és a hibájából.
- Veszteség csak akkor léphet fel DPCM kódolásban, ha kódolás előtt kvantálunk, kerekítünk és – a fentiekben leírtak alapján – adott bitösszűságra csönkoljuk a hibapértéket.
- A hibák csövódódás formájában továbbterjednek. Ezek iránya a predikciótól függ: ha „balról” predikálunk, akkor vízszintesek, ha felülről is, akkor átlósak. Ez tehát a kvantálási hiba megjelenése a képen

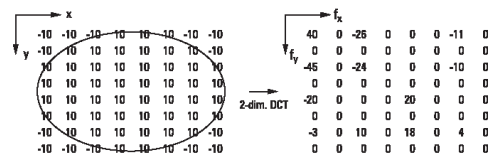
JPEG

- A képet 8x8 blokkokra osztja (pixelalapú kódolás)
- Majd 2 dimenziós DCT jön (képpontok mintáit a „helyfrekvenciák tartományába” viszi) A spektrális felbontás együtthatói a blokk különböző frekvenciájú komponenseinek nagyságát adják meg.
 - A DCT maga veszteségmentes (csak kerekítési hibája van).
- A végén futamhossz kódoló van.



DCT (Diszkrét Koszinusz Transzformáció)

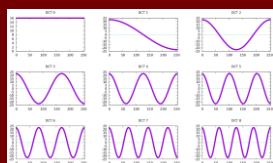
A diszkrét koszinusztranszformációt úgy képzelhetjük el, mint 8x8 képpontnak a helytartományból egy ugyanakkora 64 tényezős frekvenciatartománybeli blokkba való leképezését.



Példa diszkrét koszinusztranszformációra (DCT)

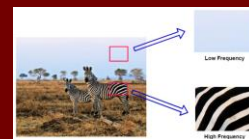
DCT (1)

- A DFT és az FFT olyan Fourier-transzformáció, amely sok (végtelen) sin és cos összegéből áll.
- A DCT, olyan, ahol csak sok tagok vannak, de kétszer annyit, mint FFT esetében, és azok az alaphelyfrekvencia felének egész számú többszörösei (DC-tól a max. frekvenciáig).
- Nem lesz komplex a spektrum, nincs fázisinfo csak amplitúdó, de ez nem felel meg pontosan az FFT-vel kapott amplitúdókarakterisztikának.
- Belátható, hogy a DCT, a jel kiragadott részletein végezve, a határokon folytonos marad inverz DCT után is. Így képtömörítésnél jó lesz a blokkok határán is, nem lehet majd látni a határokat a folytonos átmenetek miatt.
- Lehet egy vagy két dimenziós is.

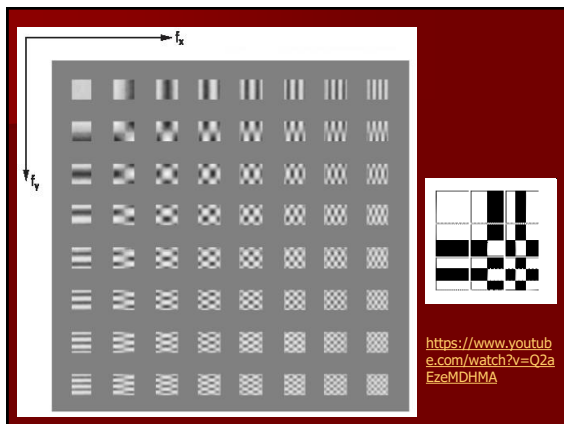


DCT (2)

- 64 darab 8 bites számból 64 darab 11 bites lesz, de sok együttható kicsi, amelyeket durvább kvantálással „elhagyunk”, és sok a nulla is.
- Főleg a nagyobb frekvenciákon kicsik az értékek és a kis helyfrekvenciás komponensek dominálnak.
- A kétdimenziós DCT alapfüggvények hasonlítanak az FFT alapokra, csak két dimenzióban. A bázisfüggvény = egyetlen együtthatóval megadható blokk („mint a szinuszhang”). A bal felső sarok az egyszintű (DC).
- A valóságos kép minden blokkja megadható ezen 64 szuperpozíciójával.



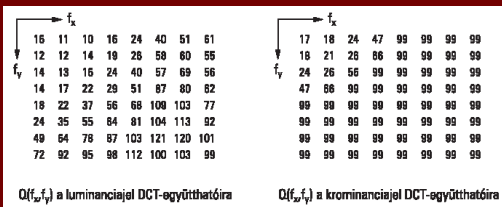
- 8x8-nál nagyobb blokk nagyobb adatredukciót tesz lehetővé, de a blokkmérettel négyzetesen arányosan nő a számítási igény.
- Bonyolult transzformációs függvények. Többféle ekvivalens leírási mód (egyenletek) léteznek! Két egymásba ágyazott for-ciklus.



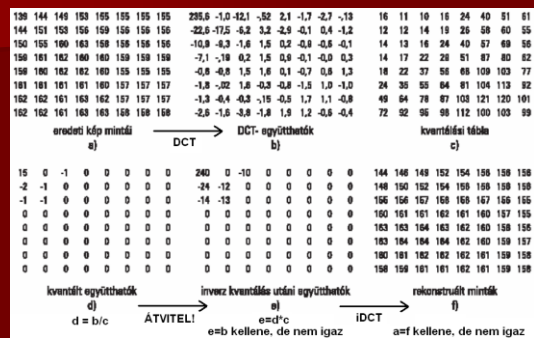
■ Hol van a nyereség (a veszteség)? :

- Amikor a DCT együtthatókat 11 bitről kevesebbre újrakvantáljuk
- Rekvantálás: osztás a kvantálási lépcsővel és kerekítés a közelebbire
- A szem tulajdonságait figyelembe véve a szám, amivel osztunk, függ a helyfrekvenciától.
- Y-hoz és C-hez kísérletileg meghatározott ún. kvantálási táblák vannak

- Nagyobb frekvenciához nagyobb a lépcső! (Nem olyan érzékeny a szem)
- Y-nál a DC jelhez $2^{11}/16=7$ bites, 128 szűrkeszint, míg jobb alsó szám $2^{11}/99 = 21$ szintű.
- Ha a táblák nem szabványosak, át kell vinni őket, a dekóder ezzel szoroz a dekódoláshoz.

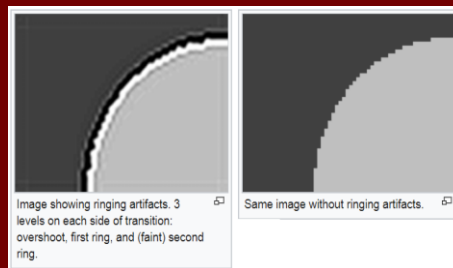


Példa



- Három paramétere van az ilyen kódolónak: a tömörítési arány (a fájlméret), a kódolás (és esetleg a dekódolás) sebessége, számításigénye, végül pedig a szubjektív minőség.
- Előfordulhat, hogy „metadata” információt is szeretnénk átvinni, szöveges adatokat, feliratot, nevet, hibajavítást stb.
- A JPEG-ben van lehetőség nem veszteséges tömörítésre is, ekkor csak DCT van és futamhosszkódolás (úrkutatás, orvosi diagnosztika).
- A szokásos RGB színrendszer helyett az YUV színrendszert használja a JPEG. Ezáltal a színösszetevők adatai a látás szempontjából fontosabb és kevésbé fontos adatokra válnak szét.
- A DCT nem veszteséges eljárás, csak az újrakvantálás az!

- „Ringing artifact”: A jelfeldolgozás során az éles átmenetek során keletkező hamis jelek. Hangtechnikában visszhang lenne (pre echo), kép esetén az éles vonalak elmosódása, szellemkép-jellegű, többretegű sávok formájában látható.



- Egy 8*8 pixeles tökéletes fehér kép intenzitási együtthatója minden pontban 255. Ez egy olyan mátrix, amely 8 oszlopból és 8 sorból áll, minden értéke pedig 255. Ha ezt DCT-nek vetjük alá, akkor a bal felső elem értéke 65280 lesz, míg a maradék 63 elem értéke zérus.

Példák

- Ha a kiindulási képünk nem tiszta fehér („DC kép”), hanem a lehető legnagyobb frekvenciájú, azaz a legsűrűbb és legnagyobb változásokat tartalmazza, akkor megkapjuk a pixelenkénti sakktablát:

255	0	255	0	255	0	255	0
0	255	0	255	0	255	0	255
255	0	255	0	255	0	255	0
0	255	0	255	0	255	0	255
255	0	255	0	255	0	255	0
0	255	0	255	0	255	0	255
255	0	255	0	255	0	255	0
0	255	0	255	0	255	0	255

255.40	0	0	0	0	0	0	0
0	890.2	0	429.4	0	936	0	2463
0	0	0	0	0	0	0	0
0	429.4	0	937.2	0	1104	0	3144
0	0	0	0	0	0	0	0
0	936	0	1104	0	1462	0	4705
0	0	0	0	0	0	0	0
0	2463	0	3144	0	4705	0	13399

- A transzformált mátrix tehát a bal felső sorában tartalmazza a blokk átlagát, és a letapogatás cikcakkosan történik ahogy a köv. ábra mutatja, ezzel lehet elérni, hogy a közeli frekvenciák egymás mellé kerüljenek.

1	3	4	10	11
2	5	9	12	
6	8	13		
7	14			
15				

A 8 x 8-as blokk feldolgozása

A következő ábra mutatja a DCT matematikai leírását:

$$C_s(k_1, k_2) = \begin{cases} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x(n_1, n_2) \cos\left[\frac{\pi}{2N_1} k_1 (2n_1 + 1)\right] \cos\left[\frac{\pi}{2N_2} k_2 (2n_2 + 1)\right] \\ 0 \end{cases}$$

A felső sor számítása igaz, ha $0 \leq k_1 \leq N_1 - 1$ és $0 \leq k_2 \leq N_2 - 1$, egyébként nulla.

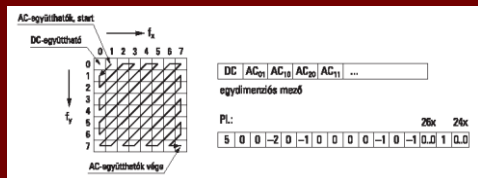
C++ kód

- Egyszerű két *for*-ciklussal leködölhető
- Készen letölthető függvények és eljárások vannak

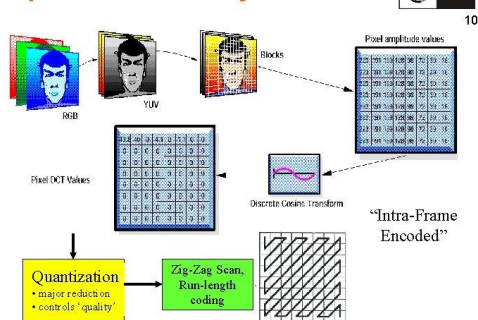
```
public double[,] GenerateDCTmatrix(int order)
{
    int i, j;
    int N = order;
    double alpha;
    double[,] DCTCoeff = new double[N, N];
    for (j = 0; j < N - 1; j++)
    {
        DCTCoeff[0, j] = Math.Sqrt(1 / (double)N);
    }
    alpha = Math.Sqrt(2 / (double)N);
    for (j = 0; j < N - 1; j++)
    {
        for (i = 1; i < N - 1; i++)
        {
            DCTCoeff[i, j] = alpha * Math.Cos((i + 1) * j * pi / (N + 1)) *
                1 / Math.Sin((i + 1) * pi / (2 * N));
        }
    }
    return (DCTCoeff);
}
```

Redundancia kódolás

- A 8x8 elemet sorfolytonossá alakítjuk úgy, hogy a nagyfrekvenciás részek a végére kerüljenek (kis amplitúdó és sok nulla a végén van)
- A végén futamhossz kódolás + gyakori sorozatok rövidebb kódszóval való leírása (nem veszteséges! ZIP)



Spatial Redundancy Reduction

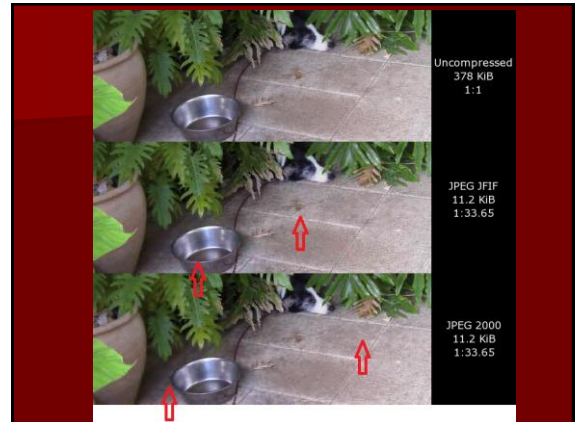


JPEG 2000 (.JP2 és .JPX)

- Az 1992-es JPG szabvány fejlesztése
- DCT helyett Wavelet-alapú tömörítés (DWT)
- Az adatfolyamok ún. „Region of Interest” (ROI) alapúak, amelyek térben elosztva manipulálhatók, kódolhatók eltérő felbontásban (granuláritás). Egy kép különböző részeit lehet eltérő felbontással/minőséggel kódolni.
- A Motion JPEG 2000 mozgóképekhez való, ahol nagy a lehetséges bitsebességek tartománya
- Ez a szabványos videókódolás 2004-től a Digital Cinema számára.

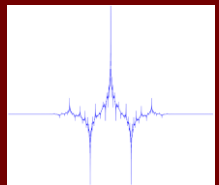
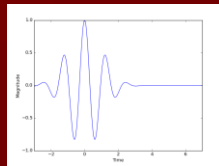


- Flexibilis adatfolyam:
 - Többféle módon skálázható és dekódolható (scalable compression)
 - Csonkolható bármely ponton → a kép alacsonyabb felbontáson vagy rosszabb SNR-al jelenik meg (multi-resolution decomposition structure)
- Progressive decoding és SNR scalability:
 - Először egy kis felbontású kép jelenik meg, a minőség „progresszív módon” javul, ahogy egyre több adat töltődik be.
- A kodek meglehetősen komplex és számításigényes.
- JP2-ben csak ringing artifact van (homályos élek), míg a JPEG-ben ezen felül blokkosodás is előfordulhat a 8x8 blokk határain.
- Robosztus a zajos csatorna által okozott bithibák ellen, mivel a kódolás relatíve kis, független blokkokban történik.



Wavelet

- A **wavelet** egy időben korlátozott, szimmetrikus hullámcsoport (0-val kezdődik és végződik)
- Pl. lehet wavelet egy E-hang frekvenciájú 1/10 mp hosszú szakasz. Ha ezt konvolváljuk egy zenei melódiával, az eredményből kiderül, **van-e és hol** E-hang benne.
- Waveletek sorozata kell a teljes adatelemzéshez → scaling
- Ha a waveletek komplementerek, a jelet átlapolásokkal vagy hiányok nélkül tudja szétbontani, és az eljárás reverzibilis. → wavelet-based compression
- <https://www.youtube.com/watch?v=QX1-xGVFqmw>



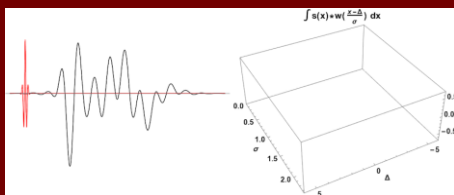
Wavelet Transzformáció

- Wavelet-alapfüggvények használatával történő transzformációs kódolás a cél
- Alkalmazható tranzienst és nagy frekvenciás (kép)tartalom pontos reprezentálására (kevesebb adattal, mint DCT-nél)
- Nem tranzienst, simább vagy periodikus (harmonikus) jelekhez nem olyan jó, ott inkább FFT-alapú előnyös
- A kettő együtt is használható (hibrid)
- WT eredménye annyi koefficiens, ahány pixel van a képen. Ez csak transzformáció, nem tömörítés. Ez után jön a kódolás; kevés koefficiensben van koncentráva az infó, jól tömöríthető. A rekvantálás után pl. entropia vagy RLC kódolókkal.
- Waveleteket gyakran használnak képek zajmentesítésére is.



- Előnye az FFT-vel szemben: hordozza a frekvencia ÉS az időbeni helyzet információját (vö. spectrogram): egy wavelet időben és frekvenciában is lokalizált, míg az FFT csak frekvenciában.
- Az FFT adott felbontású, míg a WT „multifelbontású”.

- CWT: Folytonos WT; DWT: Diszkrét WT
- Mindkettő analóg (folytonos idejű) jelek analízisére szolgál, a CWT bármilyen folyamatos scale mentén, míg a DWT csak egy meghatározott halmazból dolgozik (kettőhatvány)

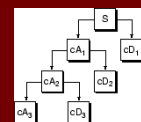


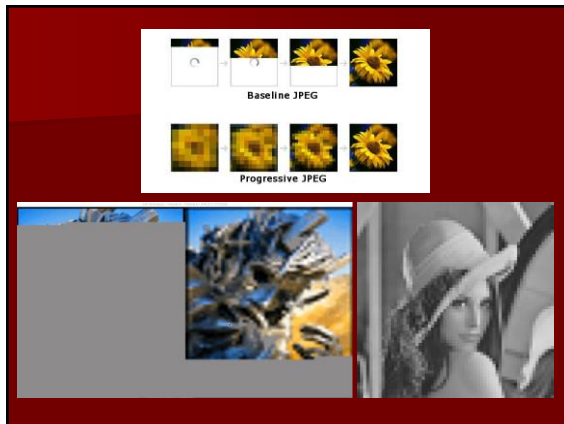
- Kisfrekvenciás rész (LPF): ez a legfontosabb, az adja a jel jellegét.
 - Approximations: high-scale részét a jelnek
- Nagyfrekvenciás rész (HPF): kis változások, nüanszok.
 - Details: low-scale részét
- Downsampling: eldobjuk a koefficiensnek egy részét, pl. 1000-ból 500 DWT koeff. marad.



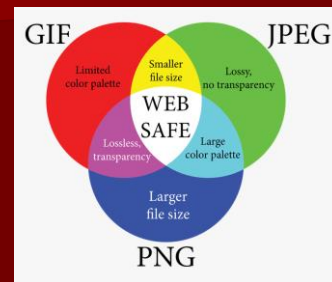
- Multi-level: végtelenségig ismétlődő elvben

- <https://www.youtube.com/watch?v=F7Lg-nFYoolU>





Veszteséges formátumok



Lossless vs. lossy compression

	Lossless	Lossy
WHAT IT DOES	Restores, rebuilds compressed file data in original form.	File data removed during compression and not restorable to original form.
USED TO COMPRESS	Files where data loss is unacceptable or information loss could pose a problem (e.g., financial data).	When file information loss is acceptable.
APPLICATIONS	Images, audio, text.	Images, audio, video.
FORMAT EXAMPLES	Image: GIF, RAW, BMP, PNG Audio: WAV, FLAC General: ZIP	Image: JPEG Audio: MP3, AAC Video: AVC, H.264, MPEG
ALGORITHMS USED	Run Length Encoding Lempel-Ziv-Welch Huffman Coding Arithmetic Encoding	Transform Coding Discrete Cosine Transform Discrete Wavelet Transform Fractal Compression
ADVANTAGES	Retains file quality in smaller size.	Significantly reduced file size Supported by many tools, plugins, software Can choose preferred degree of compression
DISADVANTAGES	Larger compressed file sizes	Result in file quality loss, degradation Original file quality cannot be recovered with decompression

MPEG célok

- Motion Picture Expert Group – célja?
- Kiindulás: JPEG, M-JPG
- Kép- és hangtömörítés veszteséggel
- ff-kép sebességigénye: kb. 80 Mbps, színes kép min. 84 Mbps, de akár több száz is lehet.

~ 2.35 Mbps	Video conference	MPEG-4
< 1.5 Mbps	Video in a window	MPEG-1
12 Mbps	H.264 / H.265	MPEG-2
2-15 Mbps	Broadcast HDTV	MPEG-2
4-15 Mbps	Professional PAL	MPEG-2
0-15 Mbps	Broadcast HDTV	MPEG-2
27.5-43 Mbps	DVB satellite multiplex	MPEG-2 Transport
30-43 Mbps	Professional HDTV	MPEG-2
34-50 Mbps	Contribution TV	MPEG-2
140 Mbps	Contribution HDTV	MPEG-2
150 Mbps	Raw H.264	(uncompressed)
216 Mbps	Raw PAL	(uncompressed)
270 Mbps	Raw contribution PAL	(uncompressed)
~ 1.5 Gbps	Raw H.264	(uncompressed)

- Tömörítéssel: 1,5-25 Mbps (VCD, DVD, HDTV MPEG2)
- Elv: redundancia a képen belül (intraframe) ill. képek között (interframe).
- A digitális, tömörített adatot rögzíteni vagy átvinni kell.

MPEG

- Kezdet: M-JPEG (mini DV: 25 Mbps)
- MPEG1: progresszív képhez, VCD minőség és formátum, interneten továbbítható ill. CD-re írható, kis képméret és CBR bitsebesség, max. sztereó hang (mpa, mp1, mp3, m1v).
Az ajánlott felbontás elnevezése SIF (Source Input Format), a világosságlelre 288 vagy 240 sort és soronként 352 mintát használ, a szinkronizálási jeleknek ennek a felét (1.5 Mbps).
- MPEG2: váltótorosra is jó, nagyobb képméret és VBR sebesség, 5.1 hang is, level & profile szintű skálázhatóság, műsorszórásra és DVD-hez (mp2, mpg, mpeg, m2v). Az MPEG1 és 2 „pixelalapú”.
- MPEG3: elvileg HDTV-re tervezték, de az MPEG2 is jó rá a skálázhatósága miatt, ezért törölték.
- MPEG4: elvben alacsony bitsebességhez tervezték (mobil), de a nagy tömörítést másra is használjuk. *Objektorientált, interaktív*, kétszer hatékonyabb az MPEG2-nél. Kép, hang, metaadat = teljes multimédiatartalom (mp4, m4a, m4v). Képen belüli objektumhozáférés: az MPEG4 „objektumalapú”. 3D alkalmazásokhoz ez jöhet csak számításba.

SIEMENS

International Compression Standards

Universität Klagenfurt - IWAIS
Multimedia Kommunikation 623.715
Juni 2004

STANDARD	JPEG and JPEG 2000	H.263 ITU-T H.263.1 BC H.261/0 x 64 ITU-T H.261	H.26L ITU-T MPEG-4 v10	MPEG-1 ISO/IEC 11172-2	MPEG-2 ISO/IEC 13818-2 ITU-T H.262	MPEG-4 ISO/IEC 14496-2
Functionality	Compression of photographic images	Low bitrate compression for video communication	Very Low bitrate compression for video communication	Interactive Video retrieval from CD-ROM	generic high quality video coding	generic object-based video coding
Source resolution (pixels x lines)	64 k x 64 k No fixed formats	CIF 352x288 QCIF 176x144 SQCIF88x72	CIF 352x288 QCIF 176x144 SQCIF88x72	SIF 352x288	CCIR 601 720x576 (MP@L)	SQCIF to CCIR progressive & interlaced
Bit rates [bit/s]	N/A	8 kbit/s to 2 Mbit/s px64 kbit/s	8 kbit/s to 2 Mbit/s px64 kbit/s	~1.856 M (CPS)	~15 M (MP@H)	5 kbit/s to 4 Mbit/s
min. Data Unit	8 x 8 pels	16 x 16 pels	4x2 pels to 64x64	16 x 16 pels	16 x 16 pels	8 x 8 pels
Temporal prediction	N/A	forward/ bidirectional	forward/ backward/ bidirectional	forward/ backward/ bidirectional	forward/ backward/ bidirectional	forward/ backward/ bidirectional
Motion comp. range/resolution	N/A	H.263: ± 32/ 0.5 H.261: ± 15/ 1	1/4 or 1/8 pel multiple reference	± 128/ 0.5	± 127 (V) ± 1023 (H) 0.5	resolution dependent; half pel
Rate control	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes; multi video objects

Media - Coding - Video: Standards

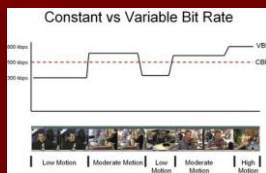
© Dr. Hutter, Siemens AG CT 2, München

Media - Coding - Video: Standards

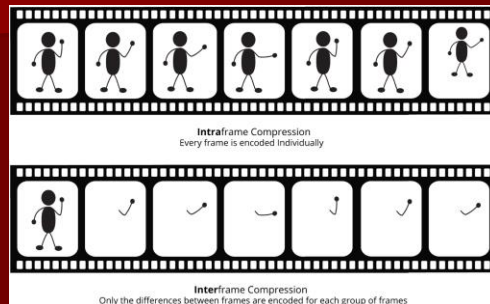
© Dr. Hutter, Siemens AG CT IC 2, München

- Képen belüli (intra frame) térbeli redundancia csökkentés: JPEG állóképek
- Képek közötti (inter frame) időbeli redundancia csökkentése:
 - A becslést a mozgásvektorok kiszámítása (mozgásbecslés) javítja: egymás utáni képek adott felülete (16x16 makroblokk) elmozdulásának információja. Ehhez ismerni kell a környező képeket és a vektorokat is át kell vinni.
 - A kimeneten állandó (CBR) bitsebességhez a kvantálást kell állítgatni (VBR-nél nem).
 - Dekódolás egyszerű és olcsó: nem kell mozgásbecslés, mert a mozgásvektor érkezik.

MPEG mozgókép

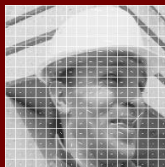
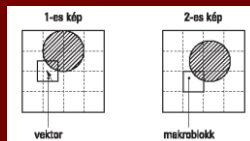


Intra és inter frame



Mozgásbecslés (1)

- Példa: lefelé szálló labda
- Ha a két kép közötti egyszerű különbségi kép helyett egy a vektor által elmozdított-becsültet viszunk át, kevesebb adat fog kelleni.
- Feladat: a kettes kép vastag blokkját meg kell keresni az egyes képen és ez megadja a az elmozdulást (pl. 3 pixel le, 2 jobbra).
- Eredmény: minden blokkra kiszámítjuk a vektort és átvisszük őket.
- Mozgásbecslés: bonyolult, nagy számításgigányú, a tervezőre bízott szerkezetű és algoritmusú.



Mozgásbecslés (2)

- Képek közötti (inter-frame) hasonlóságot használjuk ki.
- Megpróbáljuk a képen lévő mozgást képről-képre (frame-by-frame) követni.
- A mozgásbecslés végeredménye egy mozgás-vektor halmaz, amely leírja a mozgást egyik képről a másikra. Az aktuális kép nem átlapolódó blokkokra van felosztva, melyek csak a világosságértékeket tartalmazzák. Egy vektor kerül kiszámításra minden blokk számára a „keresési eljárás” során. Minden blokk elmozdul egy kereső ablak felett a referencia képen, és az algoritmus megpróbálja megtalálni a legjobb egyezést egy ún. **költség-függvény** alapján.
- Kisebb blokk esetén több mozgás-adat lesz, de pontosabb vektorok. Ugyanakkor, nagyobb számításgigány és kisebb siker nagy mozgások esetén (melyek túlnyúlhatnak a blokkon).
- Ha valami „kimegy” vagy „bejön” a képről, azt nem lehet megtalálni ilyen formában.
- Megj: az MPEG4 nem csak pixelalapú lehet, így a tömörítés hatásfoka nő, ha pl. mozgásvektor egy objektumhoz tartozik, nem a makroblokkhoz.

Keresési algoritmusok

- A mozgásbecslés legegyszerűbb formája a nyers erő módszere (brute force), amelyet neveznek még *teljes keresésnek* is. Ekkor a legjobb egyezést találjuk meg, mert az összes lehetséges esetet végignézi az algoritmus. Ez globális, optimális minimumot talál, de nagy számításgigányú.
- Ezért kitaláltak már több, heurisztikus módszert is, melyek csak lokális minimumot találnak meg, de sokkal gyorsabban. A „one at a time” módszer először az X-irányban keres minimumot, majd onnan indulva az Y-irányban is. Egy vektor esetében ez azonban nem feltétlenül lesz a globális optimum.
- Az N-lépéses keresésnél egy előre meghatározott (n-lépésből) álló folyamat során határozzák meg a költség-függvényt egy intervallum-felezős módszerrel.
- Lehet körkörösén is keresni az adott makroblokk körül.



■ Mozgásbecslés (brute force)

Bal fent: 8. frame kiindulási alap (lehet I vagy P kép)

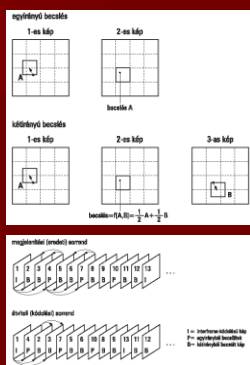
Jobb fent: 9. frame a predikált végeredménykép (P kép)

Bal alul: mozgásbecslés nélküli differencia a 8. és a 9. frame között

Jobb alul: a 8. és a 9. kép közötti elmozdulás, amit a becslés kiszámolt (ezt kell átvinni), kevesebb adat, mint a bal alsó kép.

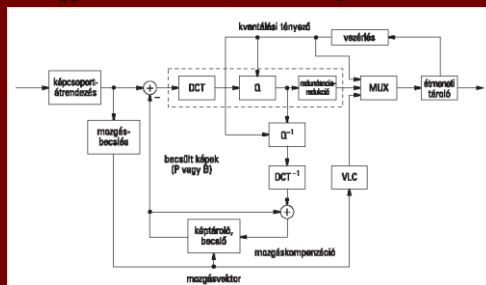


- A becslés lehet P vagy B
 - Két irányból predikált kép kb. fele annyi adattal írható le.
 - Vágni csak I képnél lehet.
 - I,P,B (GOP struktúra) szabványos
- EU: BBIBBPBBPBBPBBIBB... N = 12
 USA: BBIBBPBBPBBPBBIBB... N = 15
- MPEG-ben a P, B képekhez szükséges DCT táblák rögzítettek



MPEG videókóder

- Szaggatott = JPEG kóder, alatta mozgásbecslés



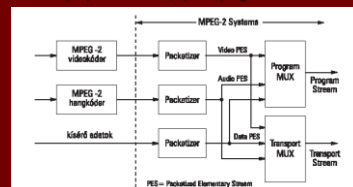
Skálázhatóság

- Digitális vétel: vagy tökéletes vagy nincs
- MPEG: beépítettek a egy középső lépcsőt is csökkentett minőségű átvitelhez
- Ezzel a módszerrel lehet a HDTV kompatibilitást megvalósítani
- MPEG4: van tartalom-skálázás és texturakódolás is



Az MPEG-bitstream

- MPEG adatfolyam: kép, hang, vezérlés, hibajavítás stb. (multiplex adat). A multiplexálás kétrétegű:
- PES: összetartozó kép, hang és adat szinkronizációja. Változó, max 64kB hosszú csomagok, 6 bájtos fejléccel. Átvitelre nem alkalmas, mert túl nagy.
- Médium-függő réteg:
 - Program stream (PS): egyetlen időalap (egy program)
 - Transport stream (TS): több időalap (több program szimultán átvitele)

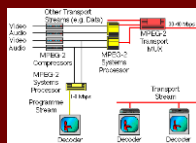


- PS: elsősorban hordozóra, jó jel/zaj mellett, mert nagyon hibaérzékeny (nagy, változó hosszúságú csomagok vannak, a fejléc sérülése kritikus)
- TS: állandó, rövid, 188 byte-os blokkok, ráadásul plusz 16 bájt RS hibavédelem is van, mely 8 hibát tud javítani (kábelhez, műholdhoz)
- TS kell a DVD-hez is (video_ts) és/vagy ha több kamerás/hangsávú a közvetítés (Forma 1, foci pl.)

Statistikus mpx: több program önálló, változó sebességű PES-ét (2-8 Mbps) tesszük egy nagy (max 40 Mbps) bitfolyamba; a nagy bitsebességű adó csomagjaiból több lesz, időben változó módon.

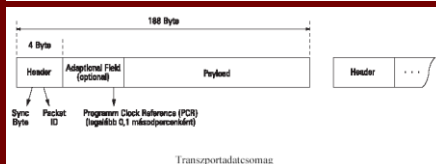
- Egy program alapesetben egy videó, egy hang és egy TXT adat elementary stream. De lehet több kép (más felbontásban), több nyelvű hang is.

- System adatok: időbélyeg, információs táblák, feltételes hozzáférés stb.



- Programmultiplex:
 - mindegyik adatfolyamrész azonos időalapú.
 - alkalmas csaknem zavartalan csatornához (pl. merevlemezre való rögzítés).
 - megengedett változó hosszúságú packetek (adatsomagok) alkalmazása.
- Transzportmultiplex:
 - több különböző időalap lehetséges,
 - alkalmas zavart csatornához (pl. műholdas átvitel).
 - 188 byte-ban rögzített adatsomagok lehetségesek csak.

A DVB-projektben a műholdas, kábeles és földi tv-műsorszórás céljára a transzportmultiplex használata mellett döntöttek, mivel csak ez alkalmas zavart csatornában történő átvitelre.



Szervízinformációk

- 4 darab programspecifikus információt tartalmazó tábla van + DVB-nél még öt járulékos tábla (önműködő tuning, adóinfók, teletext, filmfeliratozás stb.).

MPEG2 táblák:

„Program Association Table (PAT)” (Packet ID=0)
• Tartalmazza a transportmultiplex valamennyi programjának felsorolását és utal a hozzá tartozó PMT-k (Program Map Table) Packet ID-ére.
„Program Map Table (PMT)”
• Utal (figyelmet) az érintett programok egyes Packet ID-ére, különösen a Program Clock Reference packetjaira.
• Tartalmazza a programnevet.
• Tartalmazza a Copyright Information-t, azaz a szerzői jogokra vonatkozó adatokat.
• És egyéb információkat.
„Conditional Access Table (CAT)” (Packet ID=1)
• „Private Data”-t tartalmaz a Conditional Access (feltételes hozzáférés) számára.
„Network Information Table (NIT)”
• „Private Data”-t tartalmaz, pl. orbitális pozíció, transponderszám stb.

MPEG4

- MPEG 1 és 2 „keretalapú”, azaz egy kép pontossággal manipulálható, ami természetes kamera ill. mikrofon jelére megfelelő, de „szintetikus” (2D és 3D grafika) multimédia-tartalomra nem optimális. Továbbá, nem interaktív.
- Az internettel terjedtek el a FLASH, HTML, JAVA, VRML nyelvek és környezetek.
- Igény van nagy tömörítésű, extrém alacsony bitsebességű (elsősorban mobil) átvitelre is.
- MPEG 4 egy audiovizuális megjelenítési szabvány, alkalmazkodva az internet interaktivitás igényéhez és az ott látható audiovizuális tartalmakra.
- 1998 óta fejlesztik

- Kiterjesztett VRML support 3D tartalomhoz
- VRML (Virtual Reality Modeling Language)** szabványos fájlformátum 3D interaktív vektorgrafika számára.
- Objektumorientált képezés (audio, video, VRML objektumok)
- Digital Rights Management support (DRM)
- Interaktivitás
- Advanced Audio Coding (AAC) is része a szabványnak, ez az MP3 sokcsatornás utódja, jobb minőségű azonos bitráta mellett.

Csak MDCT-t használ, FFT alapú feldolgozás már nincs benne.

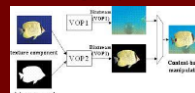
MPEG2 Part 7-nek is része.

Több audio profile (skalálhatóság) megtalálható benne.

Format	Codec	Notes
Audio Type	1000	1000
Extension	mp4	MP4, mp4, mp4, mp4, mp4, mp4, mp4, mp4
Compression	None	
Audio Quality	AAC offers better quality than MP3 in the same bit rate.	
File Size	AAC is smaller: smaller than MP3 in the same quality.	
Compatibility	Compatible with all main stream audio devices.	
Apple devices	Apple devices. But also compatible with some Android and Windows systems.	

- A felhasználó (kódológyártó) dönthet, mely részeket alkalmazza, nem kell mindet. A profile/level struktúra alkalmas készen kínált csomagok bevetésére.

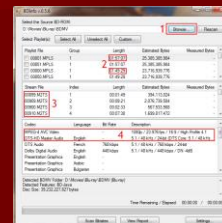
- Az objektumok önmagukban leírhatók és manipulálhatók, nem pixelalapú! Jobban is tömöríthető így (pl. textúrákódolás). A végeredmény egy „multimédiás jelenet”. Ezek hierarchikusan felépülő objektumprimitívekből állnak (pl. egy állókép, egy hangszó, egy grafikus labda/felirat).
- Tartalom-alapú skalázhatóság! Pl. kisebb bitsebességnél nincs árnyékolás, nincs 3D grafika stb. Egy objektum több elementary stream-ből is állhat.



- Szerzői jogok, tartalomvédelem, tartalom-keresés (akár objektum-szintig) hozzárendelhetők.
 - Interaktivitás: a szerző lehetővé teheti az objektumok manipulálását, ráklikkelhet, törölhet stb. Ez lehet visszarányú csatornán vagy helyben a dekóderben is kiszámításra kerülhet.
 - Példa: időjárás jelentés: ember, zöld/kék üres háttér, mozgó grafikai objektumok, egyéb feliratok.
- Ezek önmagukban tömöríthetők és vihetők át a konténerben. Ez hatékonyabb, mint pixel alapon a már összerakott képet tömöríteni. A „jelenetet” a vevő-dekóder állítja össze.

- A korábbi „layerek” helyett részekre van bontva (part 1-33). Lényegesegek:
- part 1: Systems: szinkronizáció, multiplexelés, kompatibilis TS összeállítása (ha van)
- part 2: Video kódolás: simple profile, DivX, Xvid, QuickTime 6
- part 3: Audio kodekek, pl. AAC, Lossless, Scalable lossless stb.
- part 10: H.264 AVC, QuickTime7, Blu-Ray, legfeljebb 4K és 60fps számára (8K és 300fps csak H.265-ben)

- Más multiplexálás: egy jelenetet kell összeállítani objektumokból, mely az objektumleíró információkon alapul. Nincs TS, mint MPEG2-ben.
- A vevőben demultiplexelés és dekomprimálás után a jelenetleírók összeállítják az objektumokból a jelenetet. Ebből a felhasználó esetleg beavatkozhat.
- MPEG4 tartalmazza az MPEG2 megszokott tér és időbeli skalázását a „normál” képtartalom esetén.
- MKV: Matroska Video, ami szintén egy MPEG4 konténer. Blu-ray átkódoláshoz egyszerű program kell, ami BDVM könyvtár formátumra hozza. Írás: UDF2.5 és CERTIFICATE könyvtár.
- BD Live! Internetről letölti a lejátszó a feliratot vagy újabb hangsvótot (interaktivitás).



H.264 / AVC

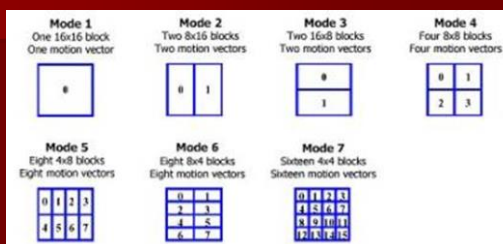
- **MPEG-4 Part 10** – 2003 óta
- **Új transzformációk**
- A korábbiaktól eltérően (8x8 DCT) 4x4-es méretű térbeli blokktranszformáció is alkalmazható. Ez elvben nagyon hasonló, de kevesebb a „ringing artifact”. Egy-egy térbeli blokk frekvenciatarományba történő transzformációja során történik meg a „pszichovizuális modell” felhasználása. Lehetséges 8x8 méretet is alkalmazni a kevésbé részletgazdag és színes képrészlethez.
- Egy másodlagos ún. Hadamard-transzformáció is elvégezhető a DC komponensre nézve, tovább csökkentve a bitebességet.
- Optimalizálták a rekvantálást és kétféle cikk-cakk módszer is lehet a futamhossz kódolás számára. Az új, logaritmikus kvantálási lépcsőkkel 12% nyereség érhető el. Lehet frekvenciafüggő kvantálási táblák használata is.

Intra-frame tömörítés

- Komplexebb lett a predikció. Az MPEG2 által használt „balra eső” értékből kiinduló predikció helyett több predikciós irány (modus) alkalmazható a szomszédos 4x4-es blokkokat felhasználva.

Mozgásbecslés

- Korábban referenciaképnek egy vagy két (B, P) kép volt használható, most már 16.
- A P és B képek egész, fél vagy negyedpixeles felbontásban számolhatók, a mozgásvektorok is negyedpixeles pontosságúak. A kompenzáció hét makroblokk-konfiguráció alapján történhet (16x16 és 4x4 között). Minden makrobloknak más referenciaképe lehet.



In-Loop Deblocking Filter

- A Loop filter szükséges elem az enkódoláskor, amely azonosítja a blokkosodást két határérték (alpha és beta factor) figyelésével. A kódolás akár 40%-át is kiteheti ez a lépés, de nagy a hatékonyságnövekedés általa. A referencia kép ilyen előzetes szűrésével erősen javítható az objektív és szubjektív képmínőség is, különösen alacsony bitebesség esetén.

Entrópiakódolás

- A VLC mellett a CAVLC és a CABAC is használható. A CABAC 5-7%-kal növelheti a tömörítést, de 30-40%-os számítási teljesítmény növekedéssel járhat. A Context-adaptive binary arithmetic coding (CABAC) egy nagy határfokú (vesztésmentes) entrópiakódolási eljárás, ahol gyakoribb kódszavakat rövidebbre cserélnek. Míg a H.264 esetén ez csak a Main és magasabb profilokban támogatott, H.265 esetén mindig. Nagyobb számításgényű, mint a korábbi Context-adaptive variable-length coding (CAVLC) eljárás, amelyet alacsonyabb profilok használnak. A CABAC nehezen párhuzamosítható.

Kodek profilok

- Az előre gyártott profilok tartalmazzák az adott színhez tartozó lehetőségeket. Az alacsonyabb profilok kevesebb enkódolási teljesítményt és memóriát igényelnek, cserébe a minőség és a bitráta alacsony marad. A fő példák az alábbiak:
- **Baseline Profile (BP)**: videokonferencia és mobil alkalmazásokhoz, alacsony költségű és minőségű.
- **Main Profile (MP)**: Átlagos felhasználásra videóanyag tárolására és továbbítására, de a HIP bevezetésével csökkent a jelentősége.
- **Extended Profile (XP)**: Nagy tömörítés streamingelt videók számára, néhány extra trükkel a robusztusság növelése érdekében (adatvesztés, szerverváltás esetére).
- **High Profile (HIP)**: Elsődlegesen műsortovábbításhoz és lemezen való tároláshoz készült profil HD anyagoknak (Blu-Ray).
- **High 10 Profile (Hi10P)**: 10 bites mintafeldolgozást lehetővé tévő profil.

	Baseline	Extended	Main	High	High10
I and P Slices	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
B Slices	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Multiple Reference Frames	No	Yes	Yes	Yes	Yes
In-Loop Deblocking Filter	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CAVLC Entropy Coding	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CABAC Entropy Coding	No	No	Yes	Yes	Yes
Arbitrary Slice Ordering (ASO)	Yes	Yes	No	No	No
Redundant Slices (RS)	Yes	Yes	No	No	No
Data Partitioning	No	Yes	No	No	No
Interlaced Coding	No	Yes	Yes	Yes	Yes
7 and 10 Bit Sample Depth	No	No	No	No	Yes
8x8 vs. 4x4 Transform Adaptivity	No	No	No	Yes	Yes
Quantization Scaling Matrices	No	No	No	Yes	Yes
Separate Ch/Cr QP control	No	No	No	Yes	Yes



H.265 / HEVC

- MPEG-H part 2 (2013 januártól)
- A HEVC is blokkalapú tömörítési eljárás, amely sok elemet felhasznál elődjétől. Ezek az alábbiak:
 1. A kép makroblokkokra osztása, esetleg azok további blokkokra való továbbosztása
 2. A térbeli redundancia csökkentése intra-frame megoldásokkal
 3. Az időbeli redundancia csökkentése inter-frame tömörítéssel (mozgásbecslés és kompenzáció)
 4. A maradék (átvitelre szánt) adat és a mozgásvektorok tömörítése transzformációkkal és rekvantálással
 5. A végtérkép újabb tömörítése entrópia kódolással.

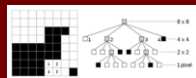
Az állókép felosztása

- Fix 16×16 méretű makroblokk helyett a képet ún. "coding tree block" (CTB)-okra bontjuk. A beállításától függően ennek mérete 64×64, 32×32 vagy 16×16 lehet, tehát a feldolgozási egység mérete nőhet, amely a hatékonyságot növeli. Minden CTB felosztható fastruktúra-szerűen egészen 8×8 méretig, ezek neve coding unit (CU). A CU az alapvető predikciós egység. Kisebb CU-t a finom felbontású területeken használunk (részletgazdag terület, élek stb.), nagyobbakat a „nagy felületű lapos” képrészleteken.



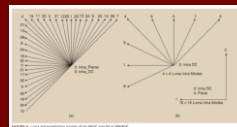
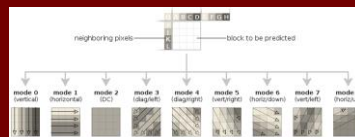
- Egy 64×64 CTB felosztása CU-kra. A számok az olvasás és feldolgozás sorrendjét mutatják. Egy teljes képen található CTB-k szeletekbe és csempékbe (tiles and tiles) foghatók össze, amely a párhuzamos számításokat teszik lehetővé.

- Minden CU visszaalakítható módon Transform Units-ba tördelhető ugyanazzal a fastruktúra-elvvel mint a CTB. Az AVC-vel szemben nem csak 4×4 és 8×8, hanem 32×32 és 16×16 is használható. A nagyobb TU stationer jelekhez, míg a kisebbek a rövidebb impulzusjellegű jelekhez jobbak. A transzformáció alapján DCT, de bizonyos esetekben a DST hatékonyabb.
- A CTB, CU és TU esetén alkalmazott adaptivitás, a nagyobb transzformációs pontosság, és a nagyobb transzformációs méret a legfontosabb újítások HEVC esetén. Nincs Hadamard-transzformáció és extra támogatás interlace video számára. Megoldható utóbbi is, de a félképek és képek nincsenek megkülönböztetve.



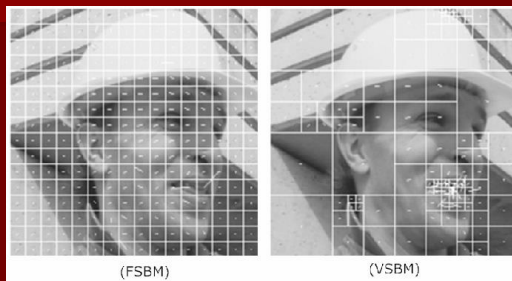
Intra frame

- A HEVC-ben 35 intrapredikciós módus (irány) van a kilenc helyett: DC mode, Planar Mode és 33 directional modes. Az információt a közeli blokkokból próbálja helyreállítani, és legjobban a lapos felületekhez alkalmazható. Követi a TU fastruktúrájú felosztási láncát.



Inter frame predikció

- A mozgásvektorok kiszámításához két lista áll rendelkezésre referenciaképekből, mindegyikben 16 hely van, de csak 8 különböző képet lehet tárolni. Ugyanaz a kép többször is szerepelhet a listában, eltérő súlyozással. A lista indexelhető (súlyozható). Két predikciós mód van az ún. Merge és Advanced. Minden predikció az egyiket használja a kettőből.
 - Advanced módban egy lista készül a lehetséges mozgásvektorokról, és átvitelre a legjobb jelölt kerül kiválasztásra (és az eltérési hiba). A dekódor ugyanazon szabály szerint frissíti a jelölt-listáját.
 - A Merge módszer hasonló, de a jelöltlista a szomszédos mozgásvektor alapján kerül meghatározásra.
- HEVC esetén 16 bites, előjeles számmal írják le a horizontális és a vertikális irányt a mozgásvektoroknál (–32768 és 32767 tartományban), amely negyed v. nyolcadpixeles pontosságot tesz lehetővé. Ez többszöröse az AVC-hez képest.



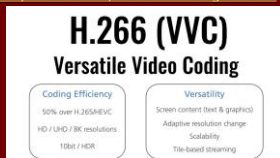
(FSBM)

(VSBM)

H.266 VVC



- 4K és 8K streaminghez, AR/VR support (360 fokos videók)
- 16K 120 fps is
- Elvileg hatékonyabb az AV1-nél, hardverchipek fejlesztés alatt
- DVB-AVC (Audio & Video Coding) beemelte a VVC-t a jövőbeni szabványba
- <https://www.youtube.com/watch?v=H03KAXtHCoc>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ccAtguBMSP0>



Videójel digitalizálása

- 8 bit színmélységű kvantálás, de mekkora a mintavételi frekvencia?
 - Y, R, G és B: 6 MHz-es jelek, legalább 12 MHz kell Shannon szerint
 - U és V jeleknek lényegesen kevesebb
- Az alábbi táblázat még MPEG kódolás előtti értékeket mutat.
- SIF: a 31 Mbps is túl sok a csatornához, ezért kell az MPEG tömörítés. Ötletek: elhagyható egy teljes félkép, az inaktív sorok (50 db!), a sorszinkron idők, U és V adott sorban stb.
- Ahogy csökken a mintavétel = egyre kevesebb pixel soronként = csökkenő felbontás ill. képméret. Ugyanahhoz az analóg képhez 800 pixel helyett 400 pixel = fele mintavételi frekvencia.
- VCD: 1-1,5 Mbps MPEG1, DVD 3-6 Mbps MPEG2

Y és U és V jelek időtartamának csökkentése technikai megvalósítások miatt					
Állapot	Mintavétel (Hz)	Y (Mbps)	U (Mbps)	V (Mbps)	Felbontás
1	11,5	864	420	108	4:3
2	11,5	864	420	108	4:3
3	11,5	864	420	108	4:3
4	11,5	864	420	108	4:3
5	11,5	864	420	108	4:3
6	11,5	864	420	108	4:3
7	11,5	864	420	108	4:3
8	11,5	864	420	108	4:3
9	11,5	864	420	108	4:3
10	11,5	864	420	108	4:3
11	11,5	864	420	108	4:3
12	11,5	864	420	108	4:3
13	11,5	864	420	108	4:3
14	11,5	864	420	108	4:3
15	11,5	864	420	108	4:3
16	11,5	864	420	108	4:3
17	11,5	864	420	108	4:3
18	11,5	864	420	108	4:3
19	11,5	864	420	108	4:3
20	11,5	864	420	108	4:3
21	11,5	864	420	108	4:3
22	11,5	864	420	108	4:3
23	11,5	864	420	108	4:3
24	11,5	864	420	108	4:3
25	11,5	864	420	108	4:3
26	11,5	864	420	108	4:3
27	11,5	864	420	108	4:3
28	11,5	864	420	108	4:3
29	11,5	864	420	108	4:3
30	11,5	864	420	108	4:3
31	11,5	864	420	108	4:3
32	11,5	864	420	108	4:3
33	11,5	864	420	108	4:3
34	11,5	864	420	108	4:3
35	11,5	864	420	108	4:3
36	11,5	864	420	108	4:3
37	11,5	864	420	108	4:3
38	11,5	864	420	108	4:3
39	11,5	864	420	108	4:3
40	11,5	864	420	108	4:3
41	11,5	864	420	108	4:3
42	11,5	864	420	108	4:3
43	11,5	864	420	108	4:3
44	11,5	864	420	108	4:3
45	11,5	864	420	108	4:3
46	11,5	864	420	108	4:3
47	11,5	864	420	108	4:3
48	11,5	864	420	108	4:3
49	11,5	864	420	108	4:3
50	11,5	864	420	108	4:3
51	11,5	864	420	108	4:3
52	11,5	864	420	108	4:3
53	11,5	864	420	108	4:3
54	11,5	864	420	108	4:3
55	11,5	864	420	108	4:3
56	11,5	864	420	108	4:3
57	11,5	864	420	108	4:3
58	11,5	864	420	108	4:3
59	11,5	864	420	108	4:3
60	11,5	864	420	108	4:3
61	11,5	864	420	108	4:3
62	11,5	864	420	108	4:3
63	11,5	864	420	108	4:3
64	11,5	864	420	108	4:3
65	11,5	864	420	108	4:3
66	11,5	864	420	108	4:3
67	11,5	864	420	108	4:3
68	11,5	864	420	108	4:3
69	11,5	864	420	108	4:3
70	11,5	864	420	108	4:3
71	11,5	864	420	108	4:3
72	11,5	864	420	108	4:3
73	11,5	864	420	108	4:3
74	11,5	864	420	108	4:3
75	11,5	864	420	108	4:3
76	11,5	864	420	108	4:3
77	11,5	864	420	108	4:3
78	11,5	864	420	108	4:3
79	11,5	864	420	108	4:3
80	11,5	864	420	108	4:3
81	11,5	864	420	108	4:3
82	11,5	864	420	108	4:3
83	11,5	864	420	108	4:3
84	11,5	864	420	108	4:3
85	11,5	864	420	108	4:3
86	11,5	864	420	108	4:3
87	11,5	864	420	108	4:3
88	11,5	864	420	108	4:3
89	11,5	864	420	108	4:3
90	11,5	864	420	108	4:3
91	11,5	864	420	108	4:3
92	11,5	864	420	108	4:3
93	11,5	864	420	108	4:3
94	11,5	864	420	108	4:3
95	11,5	864	420	108	4:3
96	11,5	864	420	108	4:3
97	11,5	864	420	108	4:3
98	11,5	864	420	108	4:3
99	11,5	864	420	108	4:3
100	11,5	864	420	108	4:3
101	11,5	864	420	108	4:3
102	11,5	864	420	108	4:3
103	11,5	864	420	108	4:3
104	11,5	864	420	108	4:3
105	11,5	864	420	108	4:3
106	11,5	864	420	108	4:3
107	11,5	864	420	108	4:3
108	11,5	864	420	108	4:3
109	11,5	864	420	108	4:3
110	11,5	864	420	108	4:3
111	11,5	864	420	108	4:3
112	11,5	864	420	108	4:3
113	11,5	864	420	108	4:3
114	11,5	864	420	108	4:3
115	11,5	864	420	108	4:3
116	11,5	864	420	108	4:3
117	11,5	864	420	108	4:3
118	11,5	864	420	108	4:3
119	11,5	864	420	108	4:3
120	11,5	864	420	108	4:3
121	11,5	864	420	108	4:3
122	11,5	864	420	108	4:3
123	11,5	864	420	108	4:3
124	11,5	864	420	108	4:3
125	11,5	864	420	108	4:3
126	11,5	864	420	108	4:3
127	11,5	864	420	108	4:3
128	11,5	864	420	108	4:3
129	11,5	864	420	108	4:3
130	11,5	864	420	108	4:3
131	11,5	864	420	108	4:3
132	11,5	864	420	108	4:3
133	11,5	864	420	108	4:3
134	11,5	864	420	108	4:3
135	11,5	864	420	108	4:3
136	11,5	864	420	108	4:3
137	11,5	864	420	108	4:3
138	11,5	864	420	108	4:3
139	11,5	864	420	108	4:3
140	11,5	864	420	108	4:3
141	11,5	864	420	108	4:3
142	11,5	864	420	108	4:3
143	11,5	864	420	108	4:3
144	11,5	864	420	108	4:3
145	11,5	864	420	108	4:3
146	11,5	864	420	108	4:3
147	11,5	864	420	108	4:3
148	11,5	864	420	108	4:3
149	11,5	864	420	108	4:3
150	11,5	864	420	108	4:3
151	11,5	864	420	108	4:3
152	11,5	864	420	108	4:3
153	11,5	864	420	108	4:3
154	11,5	864	420	108	4:3
155	11,5	864	420	108	4:3
156	11,5	864	420	108	4:3
157	11,5	864	420	108	4:3
158	11,5	864	420	108	4:3
159	11,5	864	420	108	4:3
160	11,5	864	420	108	4:3
161	11,5	864	420	108	4:3
162	11,5	864	420	108	4:3
163	11,5	864	420	108	4:3
164	11,5	864	420	108	4:3
165	11,5	864	420	108	4:3
166	11,5	864	420	108	4:3
167	11,5	864	420	108	4:3
168	11,5	864	420	108	4:3
169	11,5	864	420	108	4:3
170	11,5	864	420	108	4:3
171	11,5	864	420	108	4:3
172	11,5	864	420	108	4:3
173	11,5	864	420	108	4:3
174	11,5	864	420	108	4:3
175	11,5	864	420	108	4:3
176	11,5	864	420	108	4:3
177	11,5	864	420	108	4:3
178	11,5	864	420	108	4:3
179	11,5	864	420	108	4:3
180	11,5	864	420	108	4:3
181	11,5	864	420	108	4:3
182	11,5	864	420	108	4:3
183	11,5	864	420	108	4:3
184	11,5	864	420	108	4:3
185	11,5	864	420	108	4:3
186	11,5	864	420	108	4:3
187	11,5	864	420	108	4:3
188	11,5	864	420	108	4:3
189	11,5	864	420	108	4:3
190	11,5	864	420	108	4:3
191	11,5	864	420	108	4:3
192	11,5	864	420	108	4:3
193	11,5	864	420	108	4:3
194	11,5	864	420	108	4:3
195	11,5	864	420	108	4:3
196	11,5	864	420	108	4:3
197	11,5	864	420	108	4:3
198	11,5	864	420	108	4:3
199	11,5	864	420	108	4:3
200	11,5	864	420	108	4:3
201	11,5	864	420	108	4:3
202	11,5	864	420	108	4:3
203	11,5	864	420	108	4:3
204	11,5	864	420	108	4:3
205	11,5	864	420	108	4:3
206	11,5	864	420	108	4:3
207	11,5	864	420	108	4:3
208	11,5	864	420	108	4:3
209	11,5	864	420	108	4:3
210	11,5	864	420	108	4:3
211	11,5	864	420	108	4:3
212	11,5	864	420	108	4:3
213	11,5	864	420	108	4:3
214	11,5	864	420	108	4:3
215	11,5	864	420	108	4:3
216	11,5	864	420	108	4:3
217	11,5	864	420	108	4:3
218	11,5	864	420	108	4:3
219	11,5	864	420	108	4:3
220	11,5	864	420	108	4:3
221	11,5	864	420	108	4:3
222	11,5	864	420	108	4:3
223	11,5	864	420	108	4:3
224	11,5	864	420	108	4:3
225	11,5	864	420	108	4:3
226	11,5	864	420	108	4:3
227	11,5	864	420	108	4:3
228	11,5	864	420	108	4:3
229	11,5	864	420	108	4:3
230	11,5	864	420	108	4:3
231	11,5	864	420	108	4:3
232	11,5	864	420	108	4:3
233	11,5	864	420	108	4:3
234	11,5	864	420	108	4:3

Digitális televízió

- DVB-S, DVB-T, DVB-C alapesetek
- Kiindulás:
 - PCM kódolt BMP jel (ami túl nagy helyigényű)
 - DPCM és veszteségmentes tömörítés
 - JPEG veszteséges állókép kódolás
- Mozgóképek: kezdetben MPEG2, majd MPEG4 képkódolás és hangkódolás
 - Mozgásbecslés, mozgásvektorok
 - Különbségi képátvitel (differenciális kódolás ez is)
- Hibajavító- és csatornakódolás alapjai, digitális modulációk felsorolása, „MPEG System”

DVB alapok és bevezető fogalmak

■ A DVB előnyei a vevőnél (előfizető):

- Kifogástalan, zajmentes képmínőség: nincs szellemkép, villódzás, színtorzulás.
- CD-minőségű hangot: sztereó, Dolby Surround vagy többnyelvű kísérő hang.
- Kényelmesebb kezelhetőséget, a néző menülistából választhatja ki a nézni kívánt műsort. A kiválasztás történhet a műsor neve vagy a műsor fajtája alapján.
- A műsorcsomagban a kép- és hangjelek mellett a műsor címének, közvetítési idejének és egyéb kísérő információknak a továbbítására is lehetőség van.
- Kötetlen vételi helyeket: az egyes vevőkészülékek nem igényelnek tetőantennát csak egy rövid, kb. 10 cm-es botantennát, amelynek segítségével kiváló, szellemképpmentes lesz a vétel (DVB-T).
- Mobilitást: a néző ülhet akár villamoson, akár egy az autópályán száguldó autóban, mindig tökéletes a vétel (DVB-T).
- Interaktívítást: visszairányú kapcsolatot kialakításával, ami lehet mobil- vagy vezetékes telefon, igénybe vehetők az olyan interaktív szolgáltatások, mint például az Internet.

■ Előnyök a szolgáltatónál:

- Lefedettséget: az országos lefedésű csatornák száma jelentősen megnő, így új szolgáltatók részére terem sugárzási lehetőséget.
- Feltehető hozzáférési műsorátvitelt: a digitális jelkezhz hatékony titkosítás tartozhat, amely lehetővé teszi a nézők igény szerinti kiszolgálását, a tartalom hatékony védelmét.
- Új reklámlehetőségeket: a programszám jelentős növekedése állandó reklámcsatornák indítását is lehetővé teszi, amelyek akár mobilvétellel autóban vagy tömegközlekedési eszközön is elérhetők.
- Nagy sebességű adatátviteli rendszert: a televíziós műsorszórás mellett nagy sebességű adatátvitelre is alkalmas a csatorna: az átviteli kapacitás tetszőlegesen osztható szét a felhasználók között.
- Adatszórás lehetőséget, amely költséghatékony, és amelynek segítségével nagyszámú előfizető érhető el tetszőleges címzési móddal.
- Interaktív és multimédiás szolgáltatásokat.
- Tervezhetőséget: tematikus programcsatornák indíthatók a rétegigények kielégítésére.
- Hatékony távoktatási lehetőséget.

DVB

■ Digital Video Broadcast

- Időrendi sorrend: Satellite, Cable, Terrestrial
- Analóggal párhuzamos (?) Lekapcsolás csak a DVB-T-t érintette
- S2, C2, T2 a HDTV jelzése (HDMI!), de a T2 sokban másabb, mint a T
- Van még: DVB-H, SH stb.

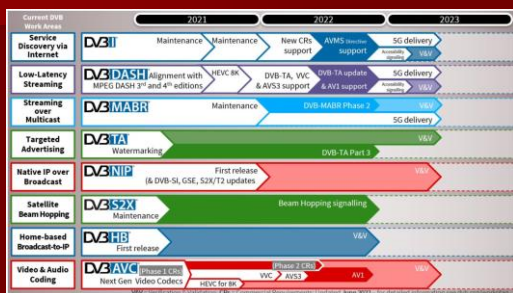
- MPEG2 általában SDTV-hez volt,
- MPEG4 igény HDTV-hez, ez az általános,
- HEVC a következő lépés T2-ben



Idővonal 1992-2012



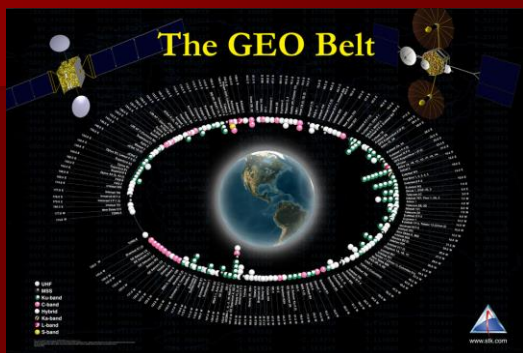
ITU Workplan 2021-től



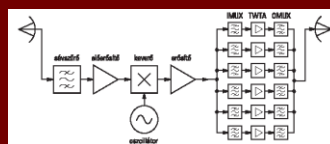
DVB-S

- Geostacioner pályán, 36000 km magasan az Egyenlítő felett a műholdak állónak látszanak. Az északi féltekén délnek néznek az antennák.
- Élettartam a pályakorrigálásra szánt üzemanyag függvénye (10-15 év, de ennyi idő alatt a technológia is sokat fejlődik).
- Napelem adja az energiát, a downlink teljesítmény korlátozott, a műholdra mindentől kell tartalék.
- 10,7-12,75 GHz (nagy sáv szélesség), a mikrohullámnak jók a terjedési viszonyai, de speciális eszközöket igényel (erősítők, csótápvonalak stb.)
- Vevőantenna és adóantenna a földön erősen nyalábolt, a műholdon viszont „terít”. Altalában paraboloid tükör, de lehet bot vagy integrált is a vevőben (GPS).

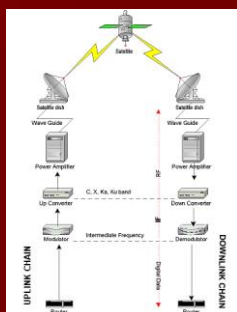
The GEO Belt



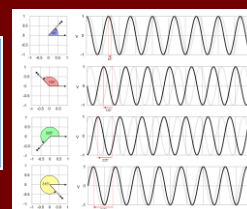
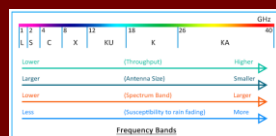
- A műhold transzponder = vevő és adóantennája közötti rész, ált. 26-36 MHz sáv szélességűek.
- Az uplink jelből kiszűrjük az adott műholdnak szánt jelet, hisz egy uplink több műholdat is (elvben) megcélozhat.
- HO: a downlink frekvenciára lekeveri a jelet.
- A sávszűrt jelet haladóhullámú teljesítményerősítővel erősítjük, ami erősen nemlineáris (TWTA).



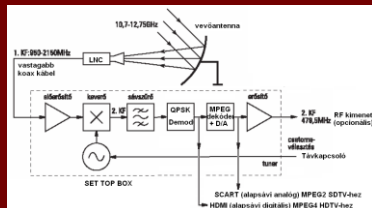
- Transponder = Transmitter and responder.
- Aktív (saját energiaforrás) vagy passzív.
- Veszti az uplink frekvenciás jelet (13-16 GHz), lekeveri a downlinkra (10,7-12,75 GHz) és erősíti.
- Sáv szélesség 26, 33 vagy ritkán 72 MHz.
- Egy műhold 16-32 transzponder (tartálékokkal).
- Egy frekvencián V és H polarizációval duplázák az adatot, a vevőantenna is úgy kell álljon.
- Analógban egy transzponderen egy TV adás + néhány rádió; digitálisban egy transzponderen több adó is lehet.



- A haladóhullámú cső nagyobb bemenő jel esetén nemlineáris, ezért olyan moduláció kell, ami erre érzékeny (AM nem lehet).
- Megoldás: QPSK, ami mindössze négy állapotú.
- Minden modulált vívőhöz külön transzponder és erősítő, így nem lesznek IM termékek.
- Az erősítők kimenetén kiszűrjük az esetleges felharmonikusokat (torzításmentesítés).
- QEF vétel igénye kb. 10^{-11} BER.

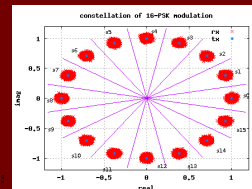


- Vétel: (viszonylag kicsi) paraboloidtűkőr, kis zajú erősítő (LNC) és KF keverő már a fejben (nem kell csőtápvonal).
- Koaxkábel vezeti a KF jelet a tunerba (Set-top-box-ba).
- A beltéri egységben egy 2.KF-re keverés után van adószétválasztás, általában SCART/HDMI kimenetet használjuk.
- Egyenletes teljesítménysűrűség elvárt a csatornák között (bitkeverés, spektrumterítés – ld. később).



DVB-S2

- HDTV vétel csak ezen, új set-top-box kellett hozzá
- 8PSK (de 16 és 32PSK is lehetne)
- MPEG4
- Egy műhold transzponder képes simulcast-ban MPEG2 SDTV és MPEG4 HDTV-t is adni
- Általában néhány demo csatorna szabadon fogható HDTV-ben, a többi fizetős és marad is (kártás).
- Ha a TV készülék tud MPEG4-et dekódolni és a megfelelő modulációkat is ismeri (4-32PSK, 4-256QAM), akkor az antenna közvetlenül is bedugható, nem kell set-top-box (multituner: DVB/S/T/C)



DVB-S2

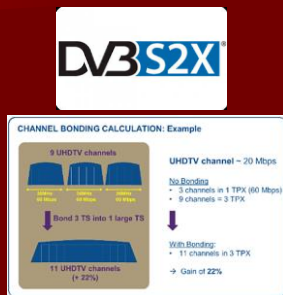
- Hierarchikus modulációval lefelé kompatibilis.
- Nem csak MPEG, hanem általános adatfolyamokat is kezelhet, ráadásul egyszerre többet is (és FDM elven egy kimeneti adatfolyamná egyesíteni).
- Az RS-kód + belső konvolúciós kód helyett ún. BCH kódolást és alacsony sűrűségű paritásellenőrző kódolást alkalmaznak (LDPC).
- Lehet 16 és 32APSK is (utóbbiak nagyobb adólinearitást igényelnek).
- A keretstruktúra lehetővé teszi az adaptív, változó moduláció alkalmazását (akár keretről keretre).
- Mindez a DVB-S-hez képest kb. 30% hatékonyságjavulás. Egy 36 MHz-es transzponderen 25 körüli SD vagy 5-6 HD csatorna fér el.

esa DVB-S versus DVB-S2

DVB-S	DVB-S2
Multiple streams: No	Multiple streams: Yes
Input bit rate: fixed	Input bit rate: variable frame-by-frame
Coding: Reed Solomon plus convolutional encoding	Coding: BCH + Low-Density Parity Check Codes (LDPC)
Coding rates: 1/2, 2/3, 3/4, 7/8	Coding rates: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Input I/F: MPEG TS	Symbols mapping: BICM (Gray)
Symbols mapping: Gray	Modulation format: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
Modulation format: QPSK	Pilot symbols: Optional
Pilot symbols: None	Symbols shaping: Square-Root Raised Cosine filter $\alpha = 0.25, 0.35$
Symbols shaping: Square-Root	Input I/F: MPEG-TS, IP
Raised Cosine filter $\alpha = 0.35$	Transmission modes: Constant Coding and Modulation, Variable Coding and Modulation, Adaptive Coding and Modulation
Transmission mode: constant	
Coding and Modulation	

DVB-S2X

- Elsősorban profi technika számára (közvetítés-stúdiók) 50% hatékonyságnövekedés
- 2014 óta
- Otthon nem nagy a minőségugrás (S-ről S2-re 30% volt)
- Channel bonding = statisztikus MPX főleg 4K-nak
- H.265
- 64-256 APSK is lehet
- Mozgó járművekhez jobb
- Nem kompatibilis lefele



Analóg kábeltévé

- Koax kábel elviszi 50 MHz-860 MHz-n a jelet. Manapság digitálisban optikai kábel van a nagy sáv szélességű átvitelhez. Legmodernebb: Fiber-to-the-home (FTTH).
- Analóg és digitális is mehet rajta párhuzamosan, van bőven hely (ellentétben a DVB-T-nél).
- Korábban fa-struktúra, most már csillag topológia.
- Digitálisban adat, internet is (kétirányú), és kell hozzá modem ill. set-top-box
- Triple-play szolgáltatások: TV, net, telefon (IP felett).
- Szolgáltatás, amiért fizetünk (akkor is, ha egyenesen nézhető csatornát nézünk). A szolgáltatónak ki kell építeni hálózatot, erősítőket, elosztókat, karbantartás stb.

DVB-C

- A kábelben FDM elven vannak az adók nyalabólva.
- Főállomás osztja szét csillag vagy faág topológiájú alhálózatra.
- Legnagyobb baj: **IM** termékek lehetnek a vevőben a „rossz” erősítők miatt.
- (-60 dB van előírva a vevőnél ezekre)
- Digitális jel esetén a 64 ill. 256 QAM a legjobb moduláció
- DVB-S-hez képest sokkal jobb a jel/zaj (10 dB helyett 30 dB), nem kell konvolúciós kódoló, egy 8 MHz-es csatornában 38-41 Mbps érhető el.
- A QAM modulációt IQ modulátorral oldják meg.
- Nincs analóg-lekapcsolási kényszer.



- A műholdhoz képest a kábel SNR-je sokkal jobb, lehet több állapotú a moduláció, hibavédelem egyszerűbb.

- A kábeltelevíziós műsorelosztó hálózatok a jelenlegi felépítésükben továbbra is üzemelni fognak.
- A digitális tv-jeleknek a hálózatba történő betáplálása a jelenlegi szolgáltatások minőségi jellemzőit észrevehetően nem ronthatja.
- Annak érdekében, hogy az átvitel a műholdas esatornával egyenértékű legyen, a lehető legnagyobb adatsűrűség megvalósításra kell törekedni.
- A költségeket alacsony szinten kell tartani, különösen a dekóderegységet (Integrated Receiver Decoder, IRD) illetően. Ezért a kábeles IRD-nek (ugyanúgy, mint a földfelszíni sugárzás vételére szolgáló IRD-nek) a lehető legnagyobb hasonlóságot kell mutatnia a műholdas IRD-vel.
- A kábeles IRD-nek a műholdas IRD-vel egy időben kell a piacon megjelenniük.

- Egy 8 MHz-es csatornában 64QAM modulációt használva akár 38,5 Mbit/s-os nettó (41 Mbps bruttó) sebességgel is továbbíthatók a digitális információk.
- A kábeles terjesztésnél 64 különböző állapot létezik. Így egy standard 6-8 MHz-es kábelcsatornán annyi adat vihető át, mint egy 30-40 MHz-es transzponderen.
- A különböző moduláció következtében a műholdas MPEG 2 vevők nem tudják venni a kábeles MPEG 2 jeleket.
- HDTV jel: 18 Mbps MPEG2 vagy 9 Mbps MPEG4, utóbbinál egy kábelcsatornába 3-4 HDTV adás rakható be, statisztikus multiplexálással öt.

DVB-C átvitel adatsűrűségei és sávszélesség-kihasználása (B = 8 MHz)

Moduláció	Szimbólum- kénti bitszám (m)	Teljes (bruttó) adatsűrűség ($v_b \cdot m$) [Mbit/s]	Hasznos (nettó) adatsűrűség (v_a) [Mbit/s]	Sávszélesség kihasználás (v_a/B) [(bit/s)/Hz]
256-QAM	8	55,65	51,28	6,4
64-QAM	6	41,73	38,45	4,8
32-QAM	5	34,78	32,05	4
16-QAM	4	27,82	25,63	3,2

DVB-C2

- 2009-től
- +30% spektrumhatékonyság
- 83.1 Mbps (8 MHz) 4096-QAM esetén
- OFDM alkalmazható



	DVB-C	DVB-C2
Input Interface	Single Transport Stream (TS)	Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE)
Modes	Constant Coding & Modulation	Variable Coding & Modulation and Adaptive Coding & Modulation
FEC	Reed Solomon (RS)	LDPC + BCH 1/2, 2/3, 3/4, 3/5, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8, 8/9, 9/10
Modulation	Single Carrier QAM	absolute OFDM
Modulation Schemes	16- to 256-QAM	16- to 4096-QAM
Guard Interval	Not Applicable	1/64 or 1/128
Inverse Fast Fourier transform (FFT) size	Not Applicable	4k
Interleaving	Bit-Interleaving	Bit-Time- and Frequency-Interleaving
Pilots	Not Applicable	Scattered and Continual Pilots

DVB-T

előnyök

kiváló képmínőség, (VHS - DVD)
tömörített átvitel, 3-8-szor annyi műsor,
kisebb adóteljesítmény (10 dB)
többutas vételi lehetőség
(nem zavar, hanem előny)
hatékony frekvencia-kihasználás, SFN
digitális felvételi lehetőség,
mobil vétel

hátrányok

jelentős költségvonzata van
mind az adás, mind a vétel oldalán,
set top box, antennák
UHF tartományban jelentős árnyékolás
eső, párák levegő csillapítása nagy,
korlátozott műsorszórás (induláskor),
„látványos”, zavaró képhibák,
kockásodás

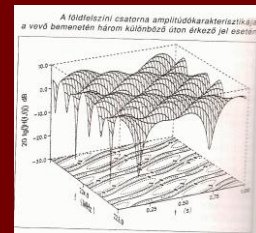
- Átállás ott fontos, ahol a műholdas és kábeltévé nem terjedt el: Anglia, Olasz, Spanyol, Francia. Itt kevés a nézhető műsor.
- Magyarország átlagos: 25-40% a csak földi vételű készülék, a többi sok csatornát néz, általában kábelben.
- Simulcast időszak legyen rövid, mert a kábeltévével ellentétben itt kevés a rendelkezésre álló csatorna (országoként 2-3 programhely).

■ Követelmények (S és C előbb volt!)

1. A földfelszíni sugárzás rendszere a lehető legjobban hasonlítson a műholdas és a kábelés átvitelre.
2. DVB-T esetében is nagy csatornkapacitásra kell törekedni akár 7, akár 8 MHz-es csatornában történjen a sugárzás.
3. A rendszer tetőantennával a lehető legnagyobb lefedettséget érje el. Kívánatos a szóbaantennás vételi lehetőség biztosítása, ellenben a mobil vétel nem célkitűzés.
4. Legyenek megvalósíthatók egy frekvenciás hálózatok („Single Frequency Network”, SFN). Ez alatt olyan hálózatokat értünk, amelyek azonos vívőfrekvenciájú adói azonos adatfolyamot sugároznak ki. Így a szomszédos adók támogatni tudják egymást a mindkét adó által besugárzott terület ellátásában. Az adótávolságoknak olyanoknak kell lenni, hogy nemzeti egy frekvenciás hálózatok megvalósíthatók legyenek.
5. A vevőkészülékek legyenek olcsók.
6. A hierarchikus modulációt a rendszer opcionálisan tartalmazza.

DVB-T tervezési lépések

- Analóg esetben bizonyos szintingadozás és késleltetés után szellemképet kapunk (megfelelő irányítottaságú tetőantenna kell ellene, teljesítmény növelés nem segít a fading ellen).
- Csatornakódolt és modulációt kell választani az MPEG 2 TS-hez (amiben adat, kép és hang már nyálálolva van).
- Cél digitális esetben: a lehető legnagyobb védelem a földfelszíni csatornával szemben, mely idő- és frekvenciazelektív.
 - Időjárás
 - Többutas terjedés (növények, házak): a vevőbe a jel több úton jelentős amplitúdó és fázisú hulláncsomagok érkeznek be
 - Mozgó, mobil vétel esetén:
 - Doppler-szóródás: a mozgó vevő közelében lévő álló vagy mozgó tárgyak okozzák, különböző amplitúdójú és fázisú hulláncsomagok érkeznek be
 - Doppler-eltolódás az adó frekvenciájában



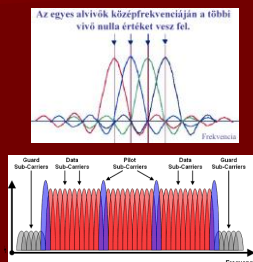
- UHF/VHF sávban bele kell férni a 8 MHz-es csatornába.
- SFN hálózatok (Single Frequency Network): az egész országban lévő adók egyszerre ugyanazon a frekvencián ugyanazt sugározzák.
 - Analógban nem lehet, ott minden reflexió és zavar és rontja a vételt.
 - Digitálisban kellően nagy védelmi intervallummal működhet.
 - Hasznos: mert hatékony frekvenciahasználtságot ad és olcsó(bb).
 - Digitális rádiók is használhatják
- FEC: Forward Error Correction hibavédelem, amely QEF vételt tesz lehetővé, kb. 10^{-11} BER mellett.

OFDM

- OFDM, ill. COFDM (hibajavító kóddal ellátott) Ortognális FDM
- Nem egy vívő paraméterei hordozzák az infót, hanem egymáshoz közeli, egyenlő távolságra lévő „sok” alvivő kerül modulációra és nyálálolásra. A fontosabb információt több vívő is szállíthat.
- Létezik külső és belső kódoló (hibavédelem), ami egyben védi a nagy adatfolyamot és a kicsiket is.
- Ha több vívő van ua. sáv szélességben (hibajavítással), akkor a fading nem mindet fogja elrontani. A teljes információra alkalmazott hibavédelem a vevőben ezeket a sérülteket kijavítja.

OFDM

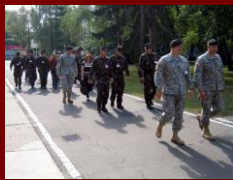
- Az OFDM a csatornát nagyszámú, egyenlő osztású al-frekvenciavávokra osztja. Minden egyes sávban egy alvivőfrekvencia továbbítja a teljes felhasználói információk meghatározott részét. Az alvivők egymással kölcsönösen ortogonálisak, nem zavarják egymást.
- Ennek feltétele, hogy $\Delta f = 1/\Delta t$ teljesüljön, ahol Δf a vívők közötti távolság és Δt a szimbólumidő.
- Az alvivők száma több ezer lehet, melyek egyesével moduláltak (pld. QAM), és a modulációt megelőzően is van hibavédelem (COFDM).
- A teljes információ mennyiség frekvenciák szerint (az alvivőkre) van elosztva és nyálálolva (soros-ph elven).



- Párhuzamos átvitel: egy nagysebességű helyett sok kisebbsebességű egyszerre (több ezer néhány kHz-es). Az átvitel után az összetevők adatfolyamát egyesítik és visszaalakítják az eredeti nagy adatátviteli adatfolyamot.
- A szélessávú jel további feldolgozása és felhasználása a vétel helyén ezt követően történik.
- Lehetőség van hierarchikus modulációra is, ahol a BER függvényében különböző minőségű jelfolyam dekódolható.
- E tulajdonságánál fogva a OFDM átvitel megfelelően működhet egy egyfrekvenciás hálózatban is.

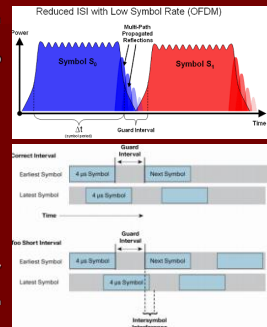
OFDM-szemléltetés

- OFDM a szelektív fading ellen véd, az ISI ellen nem (GI kell)
- A fading vagy kevésbé fontos vivőt lő ki, vagy fontosat, de abból van másolat is.



ISI (1)

- ISI: inter-szimbólum interferencia: egymásba lógnak az egymás után következő szimbólumok.
- A GI (guard intervall) nagyobb a leghosszabb késleltetési időnél, így a vevőre csak egy szimbólum és annak késleltetett verziója érkezik be. A GI a teljes szimbólumidő max. negyede. Nagy szimbólumidőhöz adott adatsebesség esetén több alvivő kell (2k, 8k).
- Digitális átvitelnél 1 ms körüli szimbólumidő esetén 100-200 μ s körüli késleltetés ISI-t okoz.
- A GI azonban a fading ellen nem véd, csak ISI ellen.
- Sok vivőnél az egy vivőre eső adatsebesség csökken, azaz a szimbólumidő nő (akár 1ms-ig is).
- Kompromisszum?
 - Kiseb vivőszám, rövidebb szimbólumidő, rövidebb GI, kisebb lesz az alvivők egymáshoz, Doppler hibákra érzékenyebb (áthallás).
 - Nagyobb intervallum: kevesebb, távolabbi adók, ami előbbre eső csökken az adatsebesség. Minél nagyobb a vedemi idő annál nagyobb reflexiók kezelhetők.

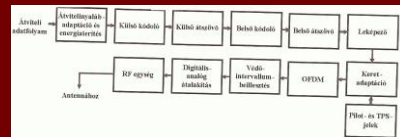


ISI (2)

- Megoldás ISI ellen:
 - Minél hosszabb ideig tartson egy szimbólum (szimbólum idő).
 - Legyen védőintervallum utána (esetleg előtte is).
 - Mindez együttesen haladja meg a legnagyobb késleltetési időket. A védelmi időben csengenek le a visszaverődések, beleértve SFN rendszerben a szomszédos adókat is.
 - DE: csökken az átviteli sebesség ekkor
 - A védelmi időrésben van kisugárzott jel (általában a következő szimbólum vége), így szkópon nem látható „időbeni lyuk”. Ennek oka a vevő szinkronizációja, amit egy lyuk esetén a zavarok miatt elveszíthet. Így azonban képes a szimbólumidőn belül megtalálni az ISI-mentes szakasz elejét és végét (bonyolult autokorrelációs számításokkal).

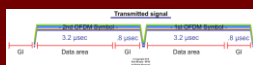
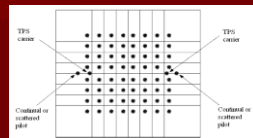
Csatornakód

- Az adatfolyam csatornához illesztése a célja (a közeg tulajdonságait figyelembe véve)



- Lépések:
 - Energiaterítés: esetleges energiacsomóktól való megszabadulás = az adatfolyam alveletlené alakítása, és ha csatornák között áthallás lenne, az véletlen zajként jelentkezik, mert nincs benne energiacsomó.

- A hasznos alvivők átvitele ún. OFDM szimbólumokban történik.
- Az egyes szimbólumok
 - TS-adatokból (kép, hang, system),
 - pilotjelekből (szinkronizációs okok)
 - átviteli paramétereket jelző (TPS) vivőkből állhatnak.
 - Kódarány, vivőszám, GI hossza stb.
- Ezek sorrendje meghatározott. A szimbólumok kereteinek kialakítása után jön az OFDM moduláció és a GI beültetése.
- DVB-T adatsebesség a fentiekől függően: 5-31 Mbps.

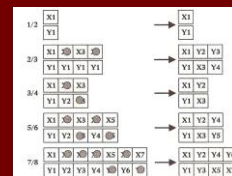
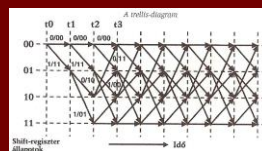
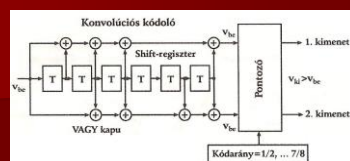


Lépések (folytatás)

- RS (204, 188, 8) külső kódoló, amely 188 byte-ból 204-et csinál és ezzel 8 bitesbitait javítani tud.
- Külső átszövő (interleaving), amely 12 darab 204 byte-os csomagot összekever (időbeni sorrend) a csatorna burstós hibái ellen.
- Belső kódoló = (pontozott) konvolúciós kódoló, ami bithibák ellen védi a már RS kódolt és összekevert adatokat. Minden bejövő bithez két bitet állít elő (hét szomszédos bit alapján), így a kódarány 1/2.
 - Bizonyos kimeneti bitek elhagyásával ez módosítható (pontozás): 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
 - Kevesebb redundancia, több hasznos adat, kisebb védelem
- Belső átszövő: ez biztosítja, hogy a bitfolyamban egymás melletti információk frekvenciában szétszóródjanak.
- Eredmény: 2, 4 vagy 6 bites kódszavak, attól függően hogy az egyes alvivők QPSK, 16QAM vagy 64QAM-ben lesznek modulálva.

Pontozott konvolúciós kód

- Második hibavédelem az RS után
- Többfokozatú shiftregiszter ún. „megcsapolási pontokkal”
- A belépő bit több másik bittel (6 bit) kerül kapcsolatba XOR-n keresztül. Ez a beágyazódás hasonló a konvolúció digitális műveletéhez.
- Bizonyos állapotból bizonyos másikba csak megfelelő „faágan” lehet eljutni. Ha hiba van, ezen visszafejtve esély van a javításra. Ez a **Viterbi**-dekódoló (ami a konv. kódolás inverze).
- A kimenet a bemeneti folyamat kétszerese alapesetben (1/2 kódarány).
- Bizonyos biteket elhagyva („pontozás”) ez az arány csökkenthető (de a hibajavító képesség rovására).

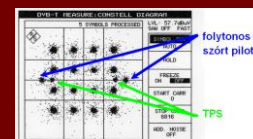


Paraméterek, adásmódok

- 2k és 8k
 - 2k csak kis távolságú SFN-ben, 8k nagyban is lehet
 - 2k: 1705 vivő, 8k: 6817 vivő
 - 8k-ban négyszer annyi vivő van, negyed olyan távolságra, a szimbólum idő négyszeres
 - 2k robosztusabb, négyszer akkora mozgási sebesség mellett is jó
- Védelmi intervallum arány: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
- Az alvivők QPSK, 16QAM vagy 64QAM
- Konvolúciós kódarány 1/2-től 7/8-ig
- Az eredő adatsebesség ezektől függ. A nettó adatsebesség nő a kódarány növelésével, rövidebb védointervallummal és az alvivők állapotának számával. A robosztusság fordítottan arányos.

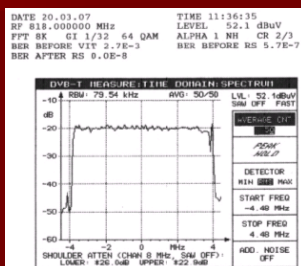
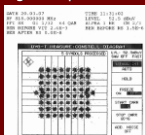
- Vivő lehet: adatvivő, nem használt vivő, folytonos pilot, szórt pilot, különleges adatvivő.
- Nem használt: a spektrum szélein vannak, csökkentik a szomszédos csatornák áthallását. (A szűrők meredeksége lapos is lehet, ami ezt biztosítja)
- Folytonos pilotok: a vevő AFC fokozatának kell. Általában cos hullámok, a valós tengely állandó pontján vannak.
- Szórt (változó helyű) pilotok: a demodulátor számára mérőjel. Olyan, mintha állandóan mérnék a csatorna átviteli függvényét és ebből korrigál a demodulátor.
- Különleges vivő: TPS: Transmission Parameter Signaling, pl. a moduláció megváltozásáról, adásmód, védelmi idő hossza, kódarány stb. tájékoztató.

Járulékos jelek



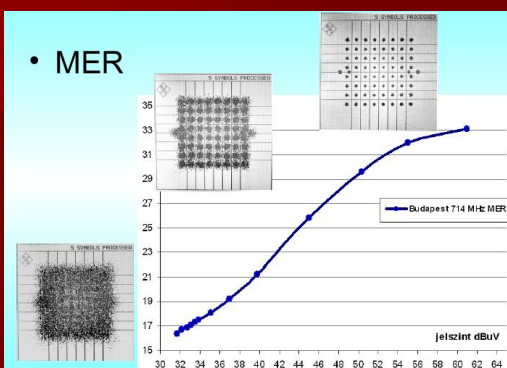
Mérések (DVB-T)

- Konstellációs diagram, digitális spektrum



- 10^{-8} BER nem jó, ezerszer rosszabb a QEF-nél, ezért ilyen a konstellációs ábra.
- BER before RS =
- BER after VIT

• MER



IPTV

- Kábeltévé hálózaton elsősorban, ahol internet és telefon szolgáltatás is van.
- IPTV nem egyenlő az internet TV-vel
- MPEG2 TS IP csomagban, nagy kapacitású hálózat és szerverek kellene, ez pedig drága.
- Szolgáltatások:
 - Javított minőségű TV és rádió
 - EPG
 - Near-video-on-demand (VOD): drágál?
 - Time shift, digitális felvétel
 - TV pincér
- Helyette: streaming



A jelen és a jövő: streaming

- Tartalomszolgáltatás, amely előfizetéses alapon megy
- Netflix, Hulu, HBO GO, amazon prime, Fox, Apple TV, fizetős YouTube stb.
- Akár 4k UHD felbontás is
- Főleg filmek és sorozatok (akár egyben is), de a sport is nagy piac
- Több ezres katalógus, preferencia clusterekbe osztva és kiejánlva

Példa: Netflix

- Magyar indulás 2016, 1200 film és sorozat
- 2019 tél: 5000+ (70 szinkronos, 1000 feliratos), magyar kezelőfelület
- 2019: 190 ország, 32 nyelv, 150 mio előfizető, 450 mio néző, 115 milliárd óra tévénézés
- Tartalomfejlesztés 2019: 5.5 milliárd dollár
- 2022: nézett órák a megjelenés után 28 nappal:
 1. Squid Game (season 1), a Korean survival thriller -- 165 billion hours.
 2. Stranger Things (season 4), a retro sci-fi series -- 135 billion hours.
 3. Wednesday, a coming-of-age supernatural dark comedy -- 1.02 billion hours
 4. Dahmer, a true-crime serial killer series -- 856.2 million hours.
 5. Money Heist (part 5), a Spanish-language thriller -- 792.2 million hours.
- Uniós irányelv: 30% helyi produkciós/besorolású kvóta kell legyen (ez mit jelent?)

Példa: zene stream

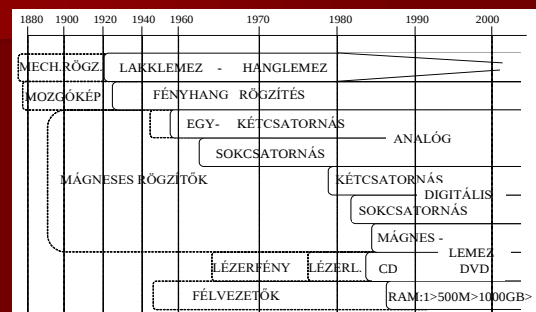
STREAMING PLATFORM	ROYALTY RATES
Amazon Music	\$0.00402 per stream
Apple Music	0.00783 per stream
Tidal Music	\$0.01284 per stream
Napster	\$0.019 per stream
Deezer	\$0.0064 per stream
Pandora	\$0.00133 per stream
YouTube Music	\$0.0008 per stream
Spotify	\$0.00318 per stream

Song Title	Streams	Ratio
1. Baby's On Fire	1,235,245,452	100.00%
2. Highway to Hell	1,240,017,278	99.57%
3. Thunderstruck	1,240,017,278	99.57%
4. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
5. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
6. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
7. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
8. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
9. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
10. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
11. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
12. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
13. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
14. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
15. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
16. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
17. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
18. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
19. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%
20. I Wanna Dance with Somebody	1,240,017,278	99.57%

Rögzítők

- A stúdiótechnika legfontosabb része a hang és a kép megfelelő minőségben történő rögzítése. Az ehhez szükséges felvevő berendezéseket rögzítőknek hívjuk. Amire rögzítünk az a hordozó.
- A rögzítőknek jobb a jel/zaj viszonya ill. a bithiba-érzékenysége, mint a csatornába való kisugárzásnak (műsorszórás).
- Csatornakódolás/moduláció, hibajavítás szükséges
- Régen analóg, mára csak digitális szinte.
- Veszít a jelentőségéből a streaming rovására.

Egy kis hangrögzítés történelem



Elvek

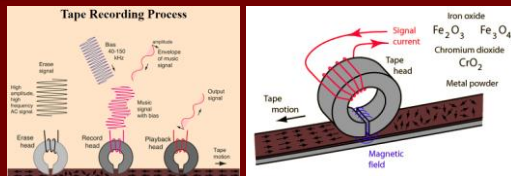
- Analóg mechanikai (fonográf, „bakelit lemez”)
- Analóg mágneses (mágnesszalagos magnók)
- Digitális mágneses (szalagos vagy HDD)
- Digitális optikai (CD, DVD, Blu Ray)
- Memória, memóriakártya (USB stick, SD kártya)

Vynil (acetilcellulóz-polivinilklorid)



Mágnesszalagos rögzítés

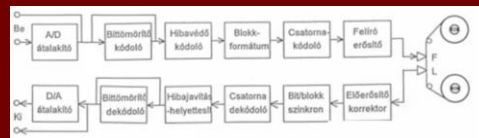
■ Fizikai elv:



- Általánosság: minél nagyobb a jel sávszélessége ill. bitsebessége, annál gyorsabb fej-szalag relatív sebességre van szükség.
- Korai megoldás: videómagmagnók (kép), ál-videó magnók (digitális hang).

Digitális rögzítés

- A hibák másképp jelentkeznek, hiszen digitális rögzítéskor csak az a cél, hogy kiolvasáskor a bitek helyesen legyenek dekódolva. Az időfüggvény torzulásai mindaddig nem lényegesek, amíg ezt hibamentesen megtehetjük. Az általános blokkvázlat az alábbi:

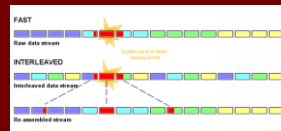


- 1. Bittömörítés = bitsebességcsökkentés = forráskódolás: VESZTESÉGES tömörítés (pl. MP3). Nem szükséges lépés.
- 2. Hibajavítás („belső kódoló”): egyszeri hibák ellen (RS) + keresztátszövés
- 3. Blokkformátum: feldarabolás, fejléc, szinkron, ID, stb.
- 4. Csatornakódoló vagy modulátor: „külső kódoló”: a blokkformátum adatot védi, járulékos hibajavítás ami a jelfolyamot a hordozóhoz illeszti (pl. ETM, EFM, QPSK, stb.)

A hibákról...

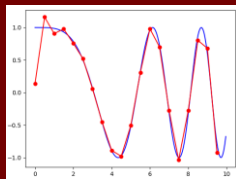
- A hibáknak kétféle nagy csoportja van.
- Az első, az ún. **egyszeri** vagy **véletlen** hiba, amikor az átvétel során a zaj vagy más hibaforrás miatt egy-egy bit vagy szimbólum hibásodik meg.
- Sokféle hatékony **hibajavító kódolási eljárás** létezik, melyek bizonyos számú bithibát képesek felismerni és/vagy ki is javítani.
- A Hamming-távolság és kód a legegyszerűbb ezek közül, de ennél hatékonyabbak is vannak.
- Egy egész kódcsalád a Reed-Solomon kódok családjá, amelyből az audio és videó kódolás is felhasznál egy-két változatot. Az RS-kódok több bitnyi hibát is képesek kijavítani, melyek véletlenszerűen fordulnak elő a jelfolyamban.
- Az RS-kódok ún. **szószervezésű**, **szisztematikus** kódok. A szisztematikus kódok azért előnyösek, mert az eredeti minta, amit alávétünk a hibajavításnak, eredeti formájában megmarad a bitfolyamban.

- A hibák másik tipikus csoportja a **hibacsomó** vagy **burst**-ös hiba.
- Ilyenkor jellemzően nem egy-egy minta sérül meg, hanem csomószerűen sok egymás utáni. Jellemzője, hogy rövid ideig tartó zavar (pl. a rádiós összeköttetésben vagy egy karcolás a CD lemezen) sok egymás utáni mintát fog hibássá tenni.
- Ellene az ún. **keresztátszövés** vagy **interleaving** a jó védelem.
- Az elv: nem időfolytonosan visszük át/rögzítjük a mintákat, hanem „szétszórjuk” azokat.
- A lemezen fizikailag egymás melletti minták időben (logikailag) nem szomszédok a valóságban.
- A „szétszórás” szigorú kötött szabályok szerinti, amit a dekódoló is ismer és azokat ismét helyes sorrendbe rendezi.
- A sorrend visszarendezése után a hibacsomó szétesik egyedi hibákra! Ezeket pedig a RS-kód már képes kijavítani. A kettő tehát együtt hatékony, és egymás után következnek. Az átszövés nem javítja ki a hibát, csak átrendezi!

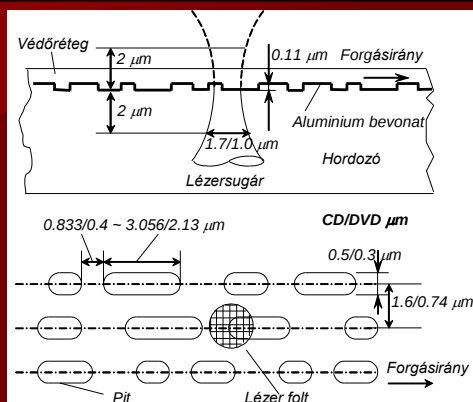
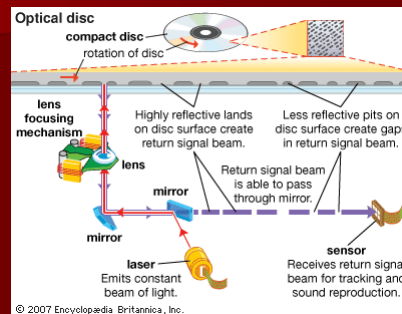


Redundancia és interpoláció

- A hibajavítás: *deinterleaving*, majd az egyedi hibajavítás.
- Az egyedi hibajavítás mindig redundanciát visz a rendszerbe.
- Minél nagyobb a redundancia mértéke, annál jobb a hibajavító képesség, annál megbízhatóbb a rendszer, de annál kevesebb hasznos adat vihető fel.
- A CD lemez azért olyan jó minőségű és áll ellen az időnek, mert a karcok és egyéb véletlen hibákat nagyon jól ki tudja javítani.
- Ha pedig már ez sem sikerül, túl nagy a sérülés, akkor jön az *interpoláció*.
- Ekkor a minőség romlik, hiszen számított minták kerülnek a jelbe, minél több, annál jobban fognak eltűnni a nagyfrekvenciás jelek, az interpoláció ugyanis átlagol, simít.



Lézerlemez-es rendszerek



	DVD	CD	Egység
	8 cm	12 cm	
Lemez: külső átmérő	80	120	mm
Barázda: belső átmérő	48	46	mm
külső átmérő	76 (70)	116 (110)	mm
szélesség	0.37	0.5	μm
távolság	0.74	1.6	μm
Lézer hullámhossz	350-650	780	nm
Bit hosszúság (névl.)	0.13-0.146 ?	0.278-0.324	μm
Pit hosszúság min.	0.4 - 0.44	0.83 - 0.97	μm
max.	1.87 - 2.13	2.29 - 2.67	μm
Hibajavító kód	RS	RS	
	szorzat kód	szorzat kód	
Hibajavító redundancia	13	25	%
Kapacitás	1.4, 2.6, 2.9, 5.3	0.65, (CD ROM) 0.8, (Zenei CD) 8/14	GByte
Csatorna moduláció	8/16	8/14	
Adat áram (netto)	11.08	1.41	Mbit/s
Adat áram (bruttó)	26.16	4.3218	Mbit/s
Lineáris barázda seb.	ER 3.49	1.2 - 1.4 (*8-16-24)	m/s
KR 3.84			m/s
Visszaverődési áll.	ER 70	70	%
KR 25-40			%
KR rétegek távolsága	40-70	-	μm

CD – DVD – BD

