

# Digitális műsorszórás

Dr. Wersényi György

NGM\_TA\_013\_1 és LGM\_TA\_013\_1

## Tartalom

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés.....                                  | 3  |
| 2. Digitális jelfeldolgozás a műsorszórásban ..... | 5  |
| 2.1 Alapok .....                                   | 5  |
| 2.2 Hangtechnikai alpműveletek .....               | 6  |
| 2.3 Képtechnikai alpműveletek .....                | 8  |
| 2.4 Hibajavítások és tömörítések .....             | 17 |
| 3. Digitális hangműsorszórás .....                 | 19 |
| 3.1 Forráskódolás alapja.....                      | 19 |
| 3.2 Rádiózás .....                                 | 26 |
| 3.2.1 Digitális adatok FM-ben.....                 | 27 |
| 3.2.2 DAB, DAB+ .....                              | 28 |
| 3.2.3 DMB .....                                    | 29 |
| 3.2.4 DRM.....                                     | 30 |
| 3.2.5 Internetrádiók .....                         | 32 |
| 3.2.6 HD Radio.....                                | 32 |
| 3.2.7 Tv-k digitális kísérőhangjai.....            | 33 |
| 4. Digitális képműsorszórás .....                  | 35 |
| 4.1 Forráskódolás .....                            | 35 |
| 4.1.1 Állóképek kódolása .....                     | 35 |
| 4.1.2 Mozgóképek kódolása.....                     | 44 |
| 4.1.3 MPEG 1.....                                  | 49 |
| 4.1.4 MPEG 2.....                                  | 50 |
| 4.1.5 MPEG 4.....                                  | 54 |
| 4.1.6 Összefoglalás.....                           | 54 |
| 4.2 Digitális televíziózás .....                   | 55 |
| 4.2.1 Teletext.....                                | 57 |
| 4.2.2 DVB-S, DVB-S2 .....                          | 61 |
| 4.2.3 DVB-C, DVB-C2 .....                          | 65 |
| 4.2.4 DVB-T, DVB-H .....                           | 67 |
| 4.2.5 DVB mérések .....                            | 76 |
| 4.2.6 További rendszerek .....                     | 80 |
| 4.2.7 Magyarországi helyzet .....                  | 83 |
| 4.2.8 Dolby Vision .....                           | 85 |
| 4.3 Átviteltechnika .....                          | 86 |
| 5. Megjelenítők.....                               | 88 |
| 5.1 LCD .....                                      | 88 |
| 5.2 LED .....                                      | 89 |
| 5.3 Plazma .....                                   | 90 |
| 5.4 Egyéb megjelenítők.....                        | 93 |
| 5.5 Digitális képfelvevők és rendszerek.....       | 94 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 6. Nagyfelbontású technika, hordozók ..... | 97  |
| 6.1 HD hang .....                          | 97  |
| 6.2 HD kép .....                           | 99  |
| 6.3 3D technika .....                      | 101 |
| 7. Kiegészítések.....                      | 105 |
| 8. Laboratóriumi mérések témakörei .....   | 105 |
| 8.1 Teletext vizsgálata.....               | 105 |
| 8.2 DVB-T mérés .....                      | 105 |
| 8.3 Képtechnikai alapok .....              | 105 |
| 9. Irodalom .....                          | 106 |

2015-07-12

# 1. Bevezetés

A digitális műsorszórás elterjedése, az analóg technika leváltása aktuális kérdés a hang- és a képterjesztés során is. A „digitális átállás” különösen az analóg televíziózást érinti, hiszen a közszolgálatot is tartalmazó fölfelszíni analóg sugárzás lekapcsolásra kerül Európában (is). Az analóggal szemben a digitális eljárások haszna az alábbi:

- általában jobb frekvenciagazdálkodás, a drága és szűkös spektrum hatékonyabb felhasználása
- amelynek következtében adott analóg csatornába több digitális műsort lehet beletenni,
- ezek minősége változtatható, igényre szabható, de általában megüti, sőt meg is haladja az analóg adások kép- és hangminőségét,
- a csatorna zavarai, zajai, többutas terjedése, fading és Doppler-hatások ellen jobban védhető,
- sok járulékos szolgáltatás (adatszórás, EPG, netán Internet) is belepréselhető,
- a mobil vétel lehetősége biztosítható (ez képműsorok esetén nagy újdonság),
- kalózkodás elleni védelem, tartalomvédelem, gyerekzár, előfizetéses szolgáltatások bevezethetők,
- de lényegesen nagyobb költségekkel különösen a vevő oldalon nem kell számolni.

Mindezek kellően elég indokok, hogy az analóg műsorszórást több helyen és módon leváltsuk, kiegészítsük.

Jelenleg a legfontosabb analóg műsorterjesztési, még életképes rendszerek: a rádiózás, ezen belül is elsősorban az FM, másodsorban az AM rádiózás (az is inkább közép- és rövidhullámon). Mivel a mobil vétel megoldott, a szolgáltatás pedig a hallgatónak ingyenes (vagy közszolgálatot hallgat, amiért adót fizet, vagy kereskedelmi adót, amit meg a reklámokból tartanak el). Járművekben, autórádiózáskor, közösségi helyiségekben (edzőtermek, fodrász stb.) az alapvető módja a háttérszórakoztatásnak. A másik a televíziózás, amelynek analógban két platformja van: a földfelszíni és a kábeles (a szatellit analóg már nem használatos). Magyarország helyzete olyan, hogy a jórészt városias környezetben lakók többsége kábeltévével lefedett és jól ellátott. Ahol nincs kábeltévé, ott sokan műholdat néznek, és csak kevesen a földfelszíni analógot. Utóbbin 3 csatorna kapott helyet, tetőantennás vétel mellett nézhető. Ez utóbbit fogjuk leváltani a digitális átállás során. Ebből az is következik, hogy ez az átállás csak azt érinti, aki jelenleg is szoba- vagy tetőantennával nézi az említett három programot, a többieknek, akik kábelt vagy műholdat néznek, ez nem számít. Más országok ellátottság más, pld Olaszországban sokkal kevesebb a kábel és több a földfelszíni, így ott a DVB-T létjogosultsága is nagyobb (pld. lehet tévézni a tengeren hajózás közben is). Ezek az adók országosak vagy regionálisak is lehetnek.

Az átállás során a hangtechnika és rádiózás is bevezet digitális platformokat, de jelenleg szimulcast-ban, azaz az analóg sugárzás mellett. Nincs tervben az AM és az FM sáv felszabadítása és az analóg sugárzás leállítása, feltehetőleg ezért sem terjednek el rohamosan a digitális rádiók (nincs rá számottevő igény). A televíziózásban a műholdas műsorszórás rég digitális (DVB-S), a kábelben jelenleg egymás mellett üzemelnek, és várhatóan lassan haladva de a digitális majd kiszorítja az analógot. Ez azonban a kábelszolgáltatók egyéni döntése és hatásköre, mivel nem állami közszolgálat, hanem profitorientált cég. Ráadásul, a kábelben sok a frekvenciahely, akár 30-40 analóg adó mellé 4-5 analóg helyre berakható pár tucat digitális járulékosan. Ezzel szemben a földfelszíni, nemzetközi szabványok által szabályozott műsorszórásban a frekvencia nagy kincs, kevés hely van, ahol adhat egy ország, ezért a szimulcast mód elkerülendő. Pld. ha három adó fér csak bele egy ország „készletébe”, akkor bár egy adót beáldozva abban a sávban több digitális is mehetne, ez nagy áldozat. Nincs elég „játéktér” a szimulcast-hoz, ezért az átállás drasztikus és az analóg országos sugárzás

leállításával történhet, ennek vagyunk napjainkban tanúi. Ráadásul, a közszolgálati adók is itt működnek, az állam az adófizetőknek köteles szolgáltatni, tehát öncélúan a hirtelen átállás nem lehetséges. Ez minden országra érvényes, ezért kell hosszú idő alatt előkészíteni, a lakosságot felkészíteni, a szegényebb rétegeket támogatni (olcsó set-top-box-al) és közbeszerzésen értékesíteni. Az átállás nem érinti a helyi, lokális adókat és tévéket, az analóg sáv bizonyos részeiben továbbra is fognak működni analóg tévéadók, elsősorban regionális célokra.

A továbbiakban áttekintésre kerül a digitális jelek alapvető tulajdonságai, paraméterei (jórészt ismétlés), a digitális hang- és képműsorszórás rendszerei, kódolásai (különösen a forráskódolás hanghoz és képhez), modulációs módszerei. Végül az ehhez szükséges, a rendszer lehetőségeit kiaknázó vevők, megjelenítők, nagy-felbontású (HD) technika berendezései kerülnek bemutatásra.

## 2. Digitális jelfeldolgozás a műsorszórásban

### 2.1 Alapok

A digitális technika, a digitális hírközlés legalapvetőbb kiindulási pontja a digitális, azaz időben diszkrét és amplitúdóban is diszkrét (kvantált) adatsorozatok és azok bináris jelekkel való leírása. Ennek során a cél, hogy az analóg jelet a „lehető legjobban” leírjuk egy számsorozattal annak érdekében, hogy azt a későbbiekben *számítógép segítségével* feldolgozhassuk. A számítógépeink megkönnyítik a munkát, különösen a nagy számításigényűeket, de tárolni és feldolgozni csak bináris adatokat, 0 és 1 bitek sorozatát képesek. Járulékos haszna ennek, hogy a digitális adat kevésbé (ill. másképp) hibaérzékeny az átvitelre és a tárolásra, így *konzerválás és információátvitelre* alkalmasabb. Nem cél többé az alakhű átvitel, csak a bitek felismerhetőségét kell garantálni. Mivel a tévesztések (véletlen ill. szisztematikus bithibák) döntési és dekódolási hibákhoz vezetnek, a digitális rendszerek hasznos bitjei mellé (nettó adatsebesség) járulékos *hibajavítást, redundanciát* mindig adni kell (bruttó). Ennek egy része a különböző hibajavító eljárások, de ide tartozik a keretformátum, a bit és/vagy byteszinkron megvalósítása, a fejlécek struktúrája stb. Az így hozzáadott „haszontalan” adat szükséges rossz, hisz a tárolókapacitás rovására megy, ugyanakkor a működés elengedhetetlen feltétele (CD esetén a nettó 1,4 Mbps adatsebességhez képest a bruttó ennek háromszorosa!).

Az analóg jeleket AD-átalakítók digitalizálják, a már megismert Shannon-féle mintavételi törvény alapján. Ennek értelmében az átalakítandó jel maximális frekvenciájának (azaz sáv szélessége) legalább a kétszeresével kell mintát venni ahhoz, hogy a *hibamentes* (!) visszaalakítás egy aluláteresztő szűrővel lehetséges legyen. Ezt Shannon bebizonyította, hogy az ideális aluláteresztő szűrő impulzusválaszai, melyet mintavételi időközönként egy-egy ilyen mintával gerjesztünk, hibamentesen visszaadja az eredeti analóg jelet. Ez a mintavételi rész.

Ez azonban önmagában ne elégséges, hiszen bár időben diszkrét adatsorozatot kapunk, azok értéke (amplitúdója) még végtelen tizedestörttel írható csak le, így csak matematikailag kezelhető, a valóságban nem, mert végtelen sok bit kéne minden egyes mintához. Ezért kerekítésre, kvantálásra van szükség, amely szükségszerűen hibát visz a rendszerbe, melyet soha nem alakíthatunk vissza tökéletesen. Célunk annak elérése, hogy ez a kvantálás lehetőleg észrevétlen és elviselhető mértékű legyen, sikerüljön olyan finomra választani, hogy az már elegendő legyen.

Az így, időben és amplitúdóban diszkrét adatsort digitálisnak nevezzük, és ezt aztán kódoljuk valamilyen formában. Nem feltétlen kellene bináris szimbólumokat hozzárendelni, de mivel a számítógép ezt használja, általában bináris kódszavakba „fordítjuk le” a számsorozatot. Ennek paramétere a bitszám, vagyis a helyiértékek száma. Egy bites átalakító esetén minden minta csak 0 vagy 1 értéket, azaz két állapot valamelyikét veheti fel (ilyen 1-bites, ún. szigma-delta modulátorokat alkalmaznak hatalmas mintavételi frekvencia mellett a hangstúdiótechnikában). Ekkor mindössze a legnagyobb (leghangosabb, legfényesebb) értéket és a legkisebbet tudjuk megjeleníteni, a dinamika rossz. Dinamikatartománynak a legnagyobb és a legkisebb amplitúdóértékek hányadosát nevezzük, így digitális jelnél ennek növelés fontos. Ha két bitet (négy szintet) engedélyezünk, a dinamikatartomány finomodik, javul, hiszen már nem csak max-min értékek vannak, hanem még kettő között, tehát bitek hozzáadásával egyre finomodik a felbontás, nő a dinamikatartomány, hiszen egyre finomabb

változásokat is le tudunk írni. Hangtechnikában a jó minőséghez 16 bites szavakat használunk, amellyel  $2^{16}$  különböző lépcsőértéket hozhatunk létre.

Az ilyen rendszereket PCM-nek nevezzük (Pulse Code Modulation), amely kódolásnak és modulációnak is felfogható, az impulzusok (mintaértékek) nagysága hordozza az információt (az általuk kifeszített burkoló képében). Mivel a kvantálás és a mintavétel is azonos lépésközü, gyakran lineáris PCM-nek is nevezzük (LPCM). Ez egyben azt is jelenti, hogy az adatfolyamunk nincs tömörítve, vagy ha tömörítve is volna, az mindenképpen veszteségmentesen történik, ezzel garantálva a legjobb hangminőséget (pld. koncert DVD-k esetén előfordul, hogy a veszteségesen tömörített Dolby Digital sáv mellett a jobb minőségű, de csak sztereó LPCM hangsáv is megtalálható). Hangnál a wave fájl ilyen PCM formátumú, de állóképeknél is megtaláljuk ugyanezt az elvet pld. a bitmap (BMP) esetében.

A digitális adatfolyam fentiekén túl rendelkezik egy nagyon fontos paraméterrel: a bitsebességgel. Ez alapján határozható meg az átviteli csatorna igénye és a tárolókapacitás. Tömörítetlen hang adatsebessége nem túl nagy a mozgóképhez képest, CD esetén ez 1,4 Mbps nettó, de jó minőségű kép a több száz Mbps-ot is elérheti. Ez a mai technikai kapacitás mellett is óriási és gyakran felesleges is. A tömörítéskor a bitsebességet csökkentjük, ez lehet veszteségmentes (pld. DVD-Audio, SACD esetén, FLAC, ZIP, RAR stb.) melynek hatásfok 50% körüli, vagy *veszteséges* (MPEG, JPEG, Dolby Digital, ATRAC, MUSICAM, dts stb.), amely hatásfoka 1:10 vagy nagyobb is lehet, azonban minősége rosszabb (lehet). A stúdióban ez utóbbi nem megengedett és a továbbiakban jórészt veszteséges kódolókkal találkozunk a műsorszórásban (az MPEG eljárások akár néhány Mbps-ra is lebutítják a bitfolyamot lényegi szubjektív minőségromlás nélkül). Az összes veszteséges, pszichofizikai elveket kihasználó kódoló az emberi érzékszervek különböző érzéketlenségeit használja fel, ezeket forráskódolóknak is nevezzük.

A hírközlésben a feladatunk tehát az alábbi ábrán látható folyamat megvalósítása, manapság digitális eszközökkel, rendszerekkel.



Az információátvitel blokkvázlata.

## 2.2 Hangtechnikai alaplételek

A hangtechnikában használatos digitális jelfeldolgozási módszerek és alapok tárgyalása a stúdiótechnika témakörébe tartozik. Itt csak néhány mondatban érintjük azokat, amelyek a továbbiakhoz szükségesek, és amelyek változatai 2D-ban a képfeldolgozásnál is előkerülnek.

A kiindulási alap mindig a PCM kódolt digitális jel, azaz adott mintavételi frekvencia mellett, másodpercenként adott számú mintát veszünk (betartva a Shannon-féle mintavételi törvényt), és az így kapott időben diszkrét impulzussorozatot kvantáljuk (adott kvantálási lépcsőmagasság, azaz adott bitszám mellett) és kódoljuk. Ez a PCM adatfolyam, amely tömörítés nélkül pld wave fájlban vagy CD-re írható. CD esetén 2 csatorna, 44100 darab 16 bites mintáját tároljuk, ami  $2 \times 44100 \times 16 = 1,4$  Mbps nettó adatsebességet jelent. Ugyanez a folyamat zajlódik le képtechnika esetén is, csak nem az analóg hanghullámot, hanem a sorszekvenciálisan kiadott videójelet mintavételezzük meg (pld. az R,G,B komponenseket

vagy az YUV komponenseket). Jellemzően 8 bites színmélységet használunk R,G,B-hez külön-külön, és (lásd később) 13,5 MHz vagy ennek fele mintavételi frekvenciát (emlékezzünk rá, hogy az analóg tévé világosságjelének, az Y-nak ill. a világosságinformációt is tartalmazó RGB jeleknek a sávszélessége 6 MHz körül, ezért ennek duplája szükségesnek tűnik a mintavételezéshez. A színkülönbségi jelek ennél kisebbet is elviselnek). Állókép esetén is a pixelek RGB értékeiről beszélünk, tulajdonképpen egy kép pixelekre felbontása is soronkénti és oszloponkénti (azaz 2D) mintavételezésnek felel meg. Az így kapott adathalmaz mátrixos elrendezésű, ahol minden pixel érték 8 biten tartalmazza az RGB koordinátáit, ilyen pld. a bitmap (BMP).

*Túlmintavételezésnek* nevezzük azt a jelfeldolgozási eljárást, amikor a Shannon-törvényt szándékosan túlteljesítjük, és nem csupán a  $f_{mv} = 2B$  választjuk, hanem pld.  $f_{mv} = 4B$ . Ekkor pont kétszerannyi adatunk lesz, CD esetén tehát ez megfelelne 88200 darab 16 bites mintának másodpercenként és csatornánként. A stúdióban manapság 96 kHz-et alkalmaznak (és 24 bitet). Mire jó ez? A hátrány azonnal szembetűnő: a tárolókapacitás kétszeres túlmintavételezés esetén megfelelődik, hiszen kétszer annyi minta van. Ha pedig 64-szeres a túlmintavételezés (oversampling), a gond még nagyobb. Az eljárás előnye azonban, hogy a minőség javul(hat). Egyrészt (lásd a részletes magyarázatot a stúdiótechnikában), a kvantálási zaj csökken a hasznos (hallható) sávban, másrészt, a visszaalakításhoz szükséges aluláteresztő szűrő nem kell annyira ideális legyen, lehet lankásabb lefutási, ezzel olcsóbb, egyszerűbb és jobb fázismenetű a vágás környékén, azaz lineárisabb és mindezek által jobb lesz a hangminőség. A folyamat ellentéte, amikor nem tartjuk be a Shannon-törvényt, és *alulmintavételezési* hibát követünk el (lásd később), ennek látható és hallható eredménye lesz. Ilyenkor alias-hatással kell számolnunk hang és kép esetén is, ill. amennyiben helyesen, módosítjuk az ez ellen védő aluláteresztő szűrő határfrekvenciáját (Anti-Aliasing-Filter, AAF), akkor hibás, ál-komponensek ugyan nem jelennek meg, de az átvitel felső határát lecsökkentettük (pld. ha CD esetén 44100 helyett csak 22050 Hz-el mintavételeznénk, a hasznos átviteli sáv  $22050/2=11025$  Hz-re csökkenne, ami minőségromlás).

Az előbbi két művelet, tehát az alul ill. felülmintavételezés az x-tengely (időtengely) mentén történik. Az y-tengely mentén (az amplitúdóban) is van ezeknek megfelelő hiba ill. túlteljesítés. Ez a bitszám helytelen (túl kevés) vagy túl pazarló megválasztását jelenti. A helyes bitmélység, azaz a kvantálási lépcsők megválasztása az emberi érzékeléstől függ. Hang esetén a CD rendszer 16 bitje már „majdnem” tökéletes, hiszen az ökölszabály szerint (bitszám  $\times 6$  dB = dinamika tartomány), ez elvben  $16 \times 6 = 96$  dB dinamikát (és jel/zaj viszonyt tesz lehetővé). Mivel az egész nem használjuk ki, a valóságban egy CD lemezen kb. 10 bit az átlagos kihasználtság, ami csak 60 dB, holott hallásunk teljes átfogása elérheti a 110-120 dB-t is. Látható, hogy plusz egy bit hozzáadása 6 dB-es javulást okoz, a 24 bites stúdiótechnikai rendszer 144 dB elvi dinamikát és a hallásnak megfelelő teljes lefedettséget ér el, így nem szükséges ezt tovább finomítani. Újabb bitek hozzáadásával csak a hallásküszöb alatti, termikus zajokat és zavarokat kezdjük el kvantálni, ami teljesen felesleges pazarlás (*felülkvantálás*). Ezért általában semmiféle járulékos haszonnal nem jár ezt túlteljesíteni. *Alulkvantálási* hibát sem szoktunk véteni, mert komoly látható és hallható zavart okoz, ez a *kvantálási zaj*. A legnagyobb hiba, amire szemünk és fülünk érzékeny, az a torzítás! Ha nem adunk elég bitet a mintáknak, és azok túlságosan lépcsősek lesznek, akkor ez felharmonikus torzítást fog okozni. Egy 16 biten ábrázolt „szép” szinuszhullám, azonos mintavételi frekvencia mellett is, igencsak lépcsőssé válik, ha 8 vagy 4 bitre lerontjuk. Szélsőséges esetben 1 bites jelet kapunk, ami négyszögjel. Míg a szép szinusz spektruma egy szinuszvonal, addig az ugyanilyen alapprofiliájú négyszögjel spektruma tartalmazza az alapprofiliára 3, 5, 7, 9, 11 stb. szoros felharmonikusait. Ez pedig nagyon zavaró! A kvantálási zaj definíció szerint a kerekítési hiba négyzetes várható értéke, azaz pusztán

számítási hiba, semmi köze az analóg rendszerek egyéb zajaihoz. A kvantálási zajt nem lineáris torzításként észleljük.

A *dither* (zajmoduláció) eljárás azt jelenti, hogy véletlen zajt keverve az eredeti analóg jelhez, vagy a már digitalizálthoz, az alulkvantálás ilyen hatása csökkenthető a jel-zaj-viszony kárára. Hang- és képtechnikában is alkalmazzuk (lásd később). Azzal, hogy véletlen zajt keverünk a lépcsős jelhez, elrontjuk annak szabályos, lépcsős kinézetét, ezzel csökkenthetjük a „csúnya” felharmonikus spektrumot, ugyanakkor a zaj lerontja a jel/zaj-t. Ez azonban előnyös csere, mert fülünk (és szemünk) inkább érzékel zajt, mint torzítást. E jelenségek (alul és felülmintavételezés, alul és felülkvantálás, dither, zajspektrum-alakítás) hangtechnikai része a stúdiótechnika témakörben található meg, a képtechnika részek pedig itt a következő fejezetben.

## 2.3 Képtechnikai alapl műveletek

A hangtechnikában megismert digitális alapl műveletek és feldolgozási lépések a képtechnikában is megtalálhatók, az alábbiakban egyszerű demonstrációs ábrakon mutatjuk meg ezek hatását.

A legegyszerűbb esetben az állókép fekete-fehér, ekkor minden pixelnek csak egy amplitúdóértéke van: az Y világosságjel, ahol fekete és fehér között adott számú szürkeárnyalati lépcső lehet. Pld. 8 bites mélység esetén 256 szint helyezkedik el. A 00000000 a fekete, a 11111111 a fehér, közötté pedig a szürkeskála (greyscale). Ha a kép színes, akkor három (RGB) koordináta tartozik hozzá hasonló módon. A 8-8-8 biten leírt színmélység összesen „24 bitesnek felel meg.” Ezt úgy kell értelmezni, hogy a három 8 bites alapszínből, 16,7 millió árnyalat keverhető ki (ez elégséges a szem felbontóképességének). Ne felejtsük el azt sem, hogy szemünk a világosságárnyalatok változására, azaz fekete-fehér képre érzékenyebb. Színes képre kb. ötször rosszabb a szemünk felbontóképessége.

| Színmélység |                                              |                          |
|-------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| 1 bit       | monokróm                                     | Fekete-fehér             |
| 2 bit       | 4 szín, CGA                                  | 2-2 bit                  |
| 3 bit       | 8 szint, pld. teletext (TV)                  | 3 bit R, G és B          |
| 4 bit       | 16 szint, EGA, VGA                           | 4 bit                    |
| 8 bit       | 256 szín, SVGA                               |                          |
| 15-16 bit   | High-color                                   | 5-5 bites R,B, 6 bites G |
| 24 bit      | True-color                                   | 8-8-8 bit RGB            |
| „32-bit”    | True color plusz 8 bit alpha vagy Z csatorna |                          |



8 bites PCM bemenet



3 bites PCM kimenet

8 és 3 bites fekete-fehér kép

Az *alulkvantálás* hatása jól látszik: bizonyos világosság-átmenetek eltűnnek, és álkontúrok jelennek meg. Bár a fájl méret lecsökken és ez egyfajta tömörítésnek is felfogható, nem túl jó megoldás. Ha a bitszámot 1-re csökkentjük, monokróm képet kapunk. Ez lehet fekete-fehér, amikor a 0 bit a fekete és az 1 a fehér (ún. mid-step kódoló), vagy lehet világos szürke-sötét szürke (mid-riser).



Egybites monokróm kép, mid-riser kódoló.

A kvantálási lépcsők növekedése okozta hiba dither-el javítható. Sokféle eljárás létezik. Az alábbi ábra 2 bites és 1 bites képet mutat (felső sor) dither nélkül, alatta ditherrel.



Négyszintű (2 bites) és kétszintű (egy bites) képek dither nélkül és ditherrel.

A kétféle képre másképp hat a csatornahiba is. Ha a csatorna hibázik, bithiba következik be. Ha több bites egy kódszó, az eredmény kiszámíthatatlan: ha az MSB bitet érinti, nagy lehet a hiba (sötétből világos vagy fordítva). Ha LSB bitet, akkor csak egy lépcsőt változik az árnyalat, a hiba nem túl nagy. Minél kevesebb bitszámú egy pixel, annál nagyobb a hiba hatása. Ha a kép egy bites, minden bithiba maximális hatású: feketéből fehér lesz, fehérből fekete, és ez a pöttyözés jól látható a képen.



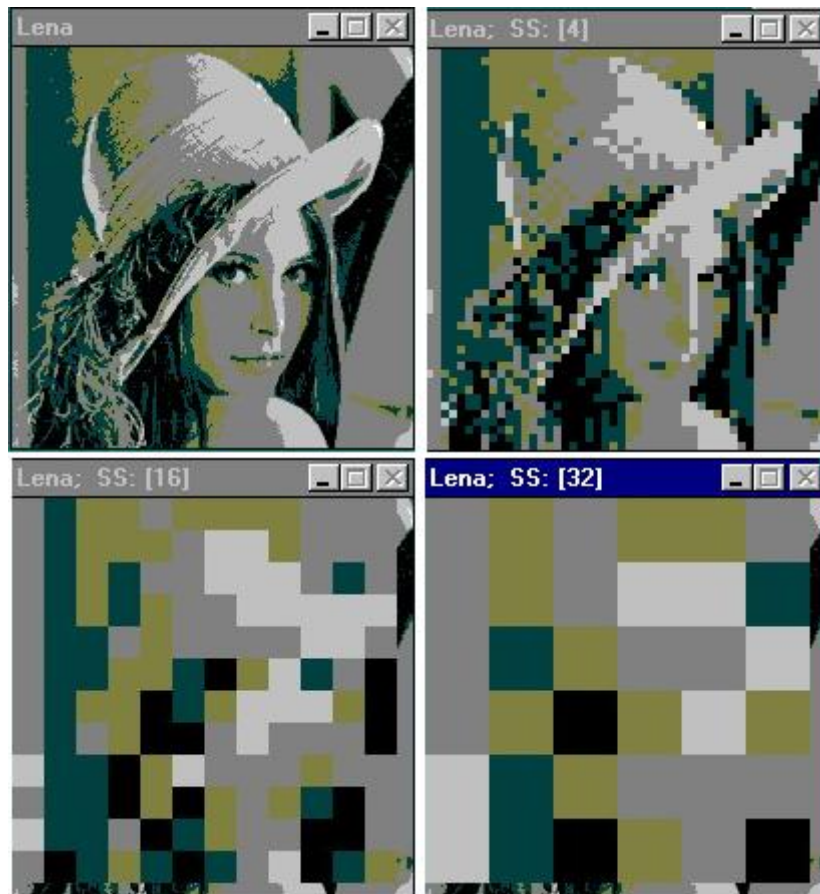
A csatornahiba 0,5%, azaz átlagosan minden kétszázadik bit hibásodik meg. Alul ditherezett képek.

Ditheres képen, mivel alapból is zajos, a kisebb csatorna-hibavalószínűség nem okoz nagy látható változást. A ditherezés színes képre is működik (pld. a Floyd-Steinberg dithering). Ilyenkor a levágott bitek (LSB) információja nem vész el, hanem hozzáadódik a szomszédosokhoz. Pld. 5,4 helyett az 5-t visszük át, a 0,4-et pedig elosztjuk a mellette és alatta lévő pixel között (hozzáadjuk).



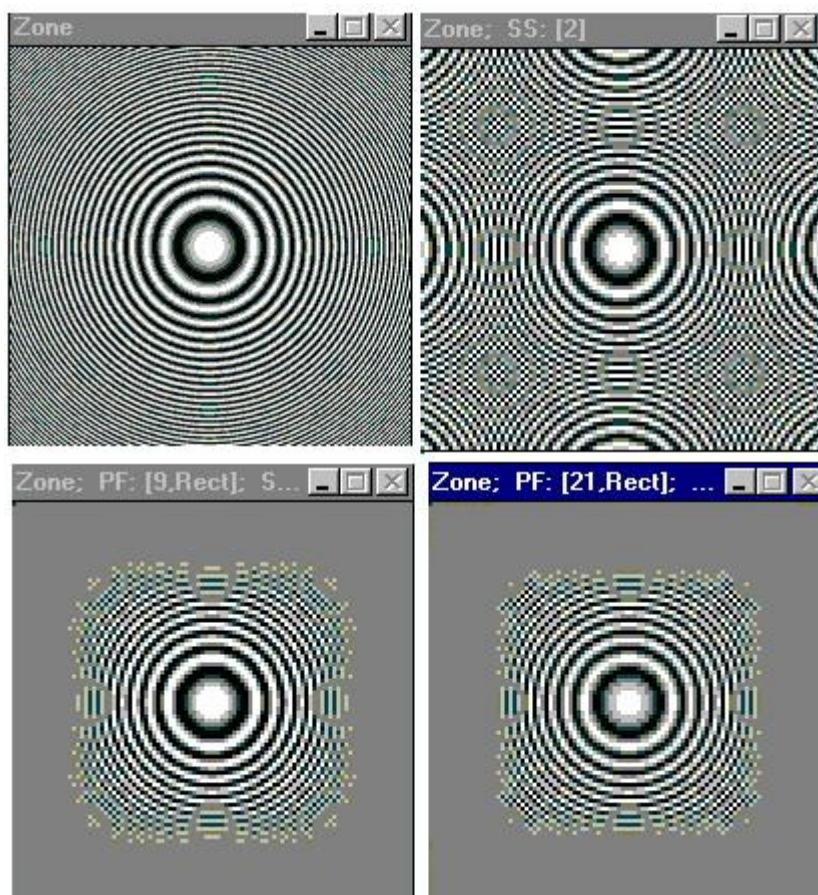
Színes kép ditherezve.

*Alulmintavételezés* estén pixelesedés jön létre. Lássunk egy példát! Egy  $200 \times 200$  pixeles képnél nem a méret csökken le, hanem nagyobb pixelek keletkeznek. Ha például az eredetileg  $200 \times 200$  pixeles képben az adatcsökkentés faktora 16, akkor minden pixelből egy  $16 \times 16$  szoros „nagy pixel” keletkezik a  $200 \times 200$ -as méretű képen. Ebből tehát 12 darab 16 pixeles négyzet keletkezik, majd mivel ez csak 192 pixelnek felel meg, a maradék 8 nem szenved semmiféle átalakítást (és ez látható lesz a kép alján és oldalán). Egy kis pixel világosságértéke ekkor „öröklődik” a másik 15-re nézve (a bal felső sarokból), így amelyikeket elhagytuk (összesen  $16 \times 16 - 1$  darabot) az egyszerűen megkapja annak értékét.



A képen 4, 16 és 32-szeres alulmintavételezés hatása, bal felül az eredeti kép.

Az állóképen a nagyfrekvenciás komponenseknek az éles kontúroknak felelnek meg, míg az alacsony frekvenciás komponensek a finom átmenetek, árnyalatok (a homogén kép pedig a DC). Amikor nem alkalmazunk AAF szűrőt és megengedjük az ál-komponenseket, akkor az eredeti kép éles kontúrjai fognak „bepixelesedni” és lépcsős-rajzolatúvá válni (azaz megjelennek olyan nagyfrekvenciás részek, amelyek az eredeti képen nem voltak meg). Amennyiben ezt el akarjuk kerülni az AAF (aluláteresztő) szűrőt alkalmazni kell, amely átlagoló hatása révén elmossa a kontúrokat az eredeti képen, ezzel kiszűrve a már nem megengedett nagy frekvenciákat. Az alábbi kép erre mutat példát, bal felül az eredeti kép, melynek sugárirányban kifelé nőnek a frekvenciái.

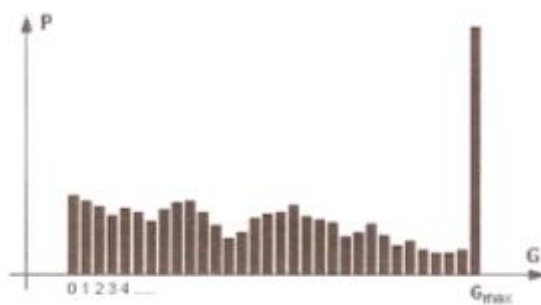


Jobbra fent egy szűrés nélküli alulminta vételezést látunk, olyan körök jelentek meg, amik az eredetiben nem voltak benne. Alatta ugyanez a megfelelő 2D AAF után, bal lent az eredeti szűrt kép, jobbra lent az alulminta vételezett.

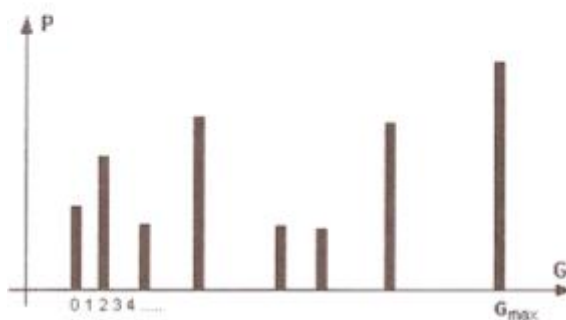
Szinten az alulminta vételezés okozta alias-hatás a tévén látható túl sűrű csíkozású mintázatban fellépő körkörös, szivárványos mintázat. Bár digitálisan ezek manapság javíthatók, régebben tiltották a túl sűrű függőleges csíkozású (nagyfrekvenciás) zakó viselését. Ilyenkor a képernyő nem tudja követni ezt a csíkfelbontási finomságot.

Mozgóképnél ezenfelül előfordulhat a képfrekvencia okozta alias is. Amennyiben a 25 kép/mp helyett a mozgás több képet igényelne, a megjelenő ál-komponensek a mozgás megváltozását okozza. Ilyet tapasztalunk a kerekek küllőinél, melyek gyorsuláskor olybá tűnhetnek, hogy visszafelé forognak. Ekkor már oly gyors a küllők forgása, hogy a képátvitel sebességé nem elégséges hozzá „alulminta vételezi” azt. Ehhez nem feltétlen kell televízió sem, a való életben a szemünkkel is előfordulhat.

A mérésekhez itt is létezik „műszer”, amely analizálja a képet. A legismertebb a hisztogram, amely a digitális fényképezőgépekben is benne van. A hisztogram a képpontok fényesség szerinti eloszlása. Például:  $G: 0,1,2,\dots,255$  ( $G_{max}$ ).  $P(G)$  a pixelek darabszáma, ami adott értékű (pld. 18, ha az egész képen 18 darab 255 értékű fehér pixel van).

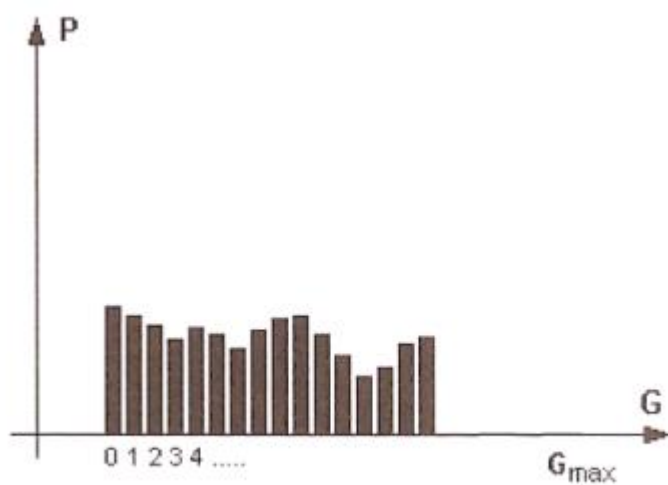


*„Túlexponált” kép histogramja*



*Kevés árnyalaton kódolt kép histogramja*

Kontraszthiba van, ha a teljes fényességi tartomány nincs kihasználva. Megoldás: normálás, amikor széthúzzuk azt. Lehet a világos, a sötét részeket külön is normálni (fényességi transzformációk).

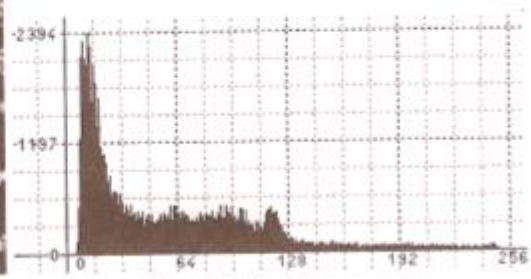


*A kép nem használja ki a teljes fényességi tartományt*

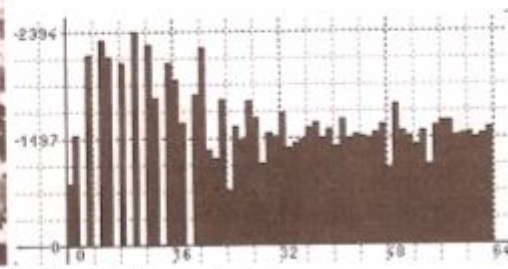


Bal kép: eredeti, középen: sötét részek kontrasztjának növelése (bokrok látszanak), jobbra: világos részek nagyobb kontrasztja (szám a villamos elején)

A hisztogramkiegyenlítés olyan fényességi leképezés, ami a kép minden fényességi tartományában egyszerre biztosítja a legjobb kontrasztot. Cél, hogy egyenletes legyen a hisztogram, ne legyenek benne csúcsok, ehhez „inverz” műveletet kell alkalmazni az adott képre. Ha a hisztogram eleve egyenletes, akkor nem sok szubjektív javulás lesz a művelet után.



*Kiegyenlítetlen hisztogrammal rendelkező kép és hisztogramja*

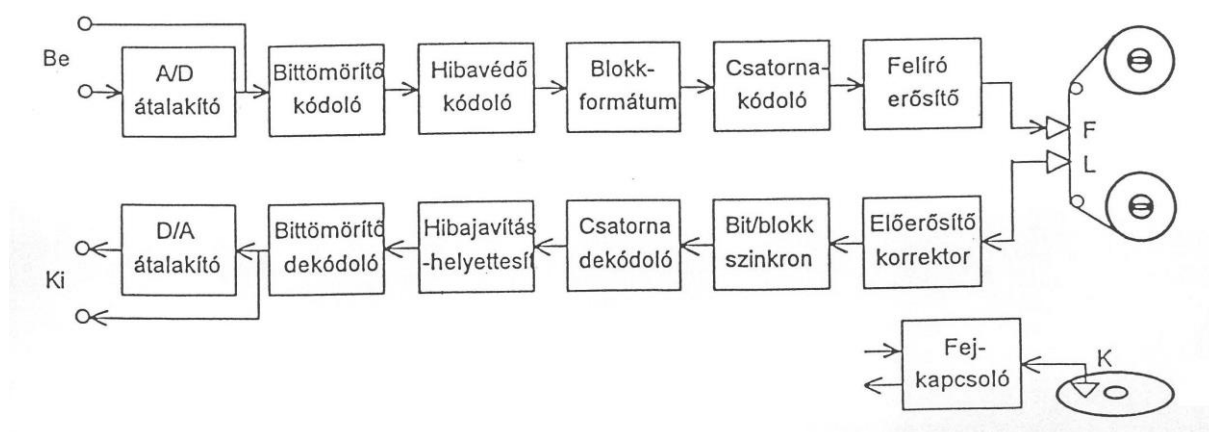


*A hisztogram kiegyenlítés eredménye*

## 2.4 Hibajavítások és tömörítések

A hibák nem úgy jelentkeznek digitális átvitelnél, mint analóg esetben, hiszen digitális rögzítéskor csak az a cél, hogy kiolvasáskor a bitek helyesen legyenek dekódolva, felismerve. Az időfüggvény torzulásai mindaddig nem lényegesek, amíg ezt hibamentesen megtehetjük.

A rögzítéskor adott mintavételi frekvenciával és bitszámmal végezzük az A/D átalakítást. Lehetőség van *forráskódolásra*, vagy más néven bitsebességcsökkentő tömörítésre. Ez azonban nem feltétlen része a rendszernek. A hibavédelem, azaz a *hibajavító kódolás* azonban mindenképpen, itt adjuk hozzá a redundanciát a rendszerhez, ami hatékony felhasználást tesz lehetővé. A lejátszónak és a dekódernek fel kell ismerni a bitfolyamban a struktúrát, így minden digitális rögzítő használ valamilyen blokkformátumot, keretszerkezetet, szinkronizálást, jelzőbiteket, ami a kiolvasást lehetővé teszi a hatalmas 1-0 folyamban. A *csatornakódoló* feladat nem a „normál” hibajavítás, hanem az előállt bitfolyam (bitstream) hordozóhoz illesztése. Ha pld. előáll egy kép és hang együtteséből álló MPEG adatstruktúra, az felírható DVD-re, továbbítható az interneten vagy kisugározható DVB állomással – és ezek mindegyike másfajta járulékos hibajavítást és apparátust igényel, ami hozzáilleszkedik az átviteli csatornához, azok hibájához, jel-zaj-viszonyához stb. A csatornakódoló (vagy más néven csatorna moduláció) egy a hordozótól függő járulékos hibajavítás.



A digitális rögzítés ill. átvitel blokkvázlata. A magnó helyére odaképzeltük az átviteli csatornát is.

A kiolvasás, visszaalakítás ennek ellentéte, inverze. Szükség van bitszintű szinkronra és blokk szintűre is. Az első a bitek elejét, végét találja meg, hogy azt értelmezze (mintát vegyen belőle). Ha ez sikerül, akkor megkeresi a blokkok és a keretek elejét és végét, ami nem más, mint egy adott bitkombináció. Természetesen, ez a bitkombináció nem fordulhat elő máshol a bitfolyamban, nehogy szinkronnak érzékelje a dekóder. A csatornakódolás „visszacsínálása” után a hibajavításra kerül sor, ha történt hiba. Ha túl sok hiba történt, akkor két lehetőség marad: a némítás vagy az interpoláció. Az interpoláció csak hanganyagánál fordulhat elő, adatoknál nem. Interpoláció során a kieső hangmintákat a szomszédos nem sérült mintákból becsüli meg a lejátszó, pld. egyszerű lineáris középértékkel. Ez a megoldás CD-ROM esetén pld. bizonyosan nem működhet, mert az adatok között ott nincs összefüggés, egy telefonszám középső számjegye nincs kapcsolatban a tőle balra és jobbra eső szomszédjával, nem találhatjuk azt ki a két szomszédosból. Ha a rendszerben volt bitsebességcsökkentő forráskód, akkor azt is vissza kell alakítani (ez történik MP3 fájlok lejátszásakor), majd ezután következhet a D/A visszaalakítás.

A hibáknak kétféle nagy csoportja van. Az első, az ún. *egyszeri* vagy *véletlen* hiba, amikor az átvitel 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 már ismert Hamming-távolság és kód a legegyszerűbb ezek közül, de ennél hatékonyabbak is vannak. Egy egész kódcsalád a Reed-Solomon kódok családja, melyből az audio és a video kódolás is felhasznál. Az RS-kódok több bitnyi vagy bájtnyi 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 alávetünk a hibajavításnak, eredeti formájában megmarad a bitfolyamban.

A hibák másik tipikus csoportja a hibacsomó vagy burst. Ilyenkor jellemzően nem egy-egy minta sérül meg, hanem csomószerűen sok egymás utáni. Jellemzője, hogy rövid ideig tartó zavar (pld. a rádiós összeköttetésben vagy egy karcolás a CD lemezen) sok egymás utáni mintát fog hibássá tenni. Ezt az RS-kód, vagy általánosan az egyedi hibákat javító kód nem képes kezelni. A védekezés ellene az ún. keresztátszövés vagy interleaving. Az elv egyszerű: nem időfolytonosan visszük át/rögzítjük a mintákat, hanem „szétszórjuk” azokat. Sugárzás esetén ez azt jelenti, hogy egy-egy átviteli időblokkban nem az egymás utáni minták következnek, egy CD esetén pedig azt, hogy az időben egymás utáni minták nem egymás mellett helyezkednek el a lemez felületén. Másképp szólva, a lemezen egymás melletti minták nem szomszédok a valóságban. Természetesen a „szétszórás” nem ad hoc módon megy, hanem szigorú kötött szabályok szerint, amit a dekódoló is ismer és azokat ismét helyes sorrendbe rendezi. Mi ennek az értelme? A nyereség abból adódik, hogy ha ezután egy burstös hiba történik, pld. megkarcolódik a lemez, akkor nem egy kupacban lesznek hibák, hanem a sorrend visszarendezése után ezek szétesnek egyedi hibákra! Ezeket pedig a RS-kód már képes kijavítani. A kettő tehát együtt hatékony.

### 3. Digitális hangműsorszórás

#### 3.1 Forráskódolás alapja

Ahogy a bevezetőben említettük, a hang és a kép információtartalma, átviteli sebessége túlságosan nagy ahhoz, hogy praktikus, olcsó hordozón rögzítsük és/vagy kisugárzásra kerüljön a műsorszórásban. Egy színes kép tömörítetlen képkockákból 80-200 Mbps sebességű, a kétcsatornás CD hang 1,4 Mbps, és ebben nincs semmiféle hibajavító kódolás. Ha tehát hozzáveszünk még több csatornát, és a redundanciát egy CD-re pár perc kép és hanganyag férne rá.

Amikor a technológia még nem tette lehetővé a nagy háttértárakat, elsődleges cél volt az adott hordozón (CD) vagy csatornában (kábeltevé) létrehozni egy tömörített bitfolyamot. A tömörítés kétféle módon lehetséges: *veszteséggel* (lossy coding) vagy *veszteségmentesen* (lossless coding). Utóbbi sokkal jobb minőségű, hiszen visszaalakításkor nem vesz el információ, azonban maximum 50% körüli tömörítés érhető el. Ha ennél nagyobbát szeretnénk (80-90 %), akkor veszteséggel tudunk csak tömöríteni, ami a minőség romláshoz vezet(het).

Rengeteg tömörítési eljárás létezik, amelyek közül még a szabványosokból is több tucat van. A legismertebb az MPEG. Ez a rövidítés annak a konzorciumnak a betűjele, melyben Motion Picture Expert Group néven gyűltek össze korábban nagy cégek és kutatóintézetek, hogy kidolgozzanak egy olyan szabványos tömörítési eljárást képre, hangra, amely lehetővé teszi a digitális televíziózást és a DVD elterjedését (vagyis inkább létrejöttét), a VHS magnók alternatíváját, a filmek optikai rögzítését. Ebben a csoportban ott voltak a nagy gyártók, a kutatóintézetek (Fraunhofer Institute), egyetemek. A feladatokat és az eredményeket is felosztották csoportokba (Layer-ek), melynek során kialakult az MPEG-1, később az MPEG-2 szabvány, ami manapság mindennek az alapja. Mára az MPEG-4 is elterjedt.

Az MPEG mindegyike vesztéses kódolás, amit szoktunk érzeti vagy szubjektív névvel is illetni. Ez azt takarja, hogy a „kidobált” információ által okozott minőségromlást nem fogjuk érzékelni, látni, hallani.

Történetileg először a kutatás kezdődött meg, a kutatóintézetekben került kidolgozásra az a „pszichoakusztikus” modell, amit majd a későbbi ábrákon is megtalálhatunk. Élen járt ebben a Fraunhofer Institut, amely létrehozta azt az eljárást, amely lehetővé tette a hanganyag kb. tizedére történő összenyomását. Hasonlóan, az MPEG képért felelős csoportja megalkotta a mozgóképtömörítés lehetőségét (lásd később).

Először az MPEG-1 jött létre. Alapjában **hordozón** történő rögzítésre találták ki (lézerlemezek, VCD). Már ez is több fejezetből áll (video, audio, adat, stb.) Általában az MPEG-2-nél rosszabb minőségű, a kép kisebb felbontású (ha a szabványt követjük) és maximálisan sztereó hangot tudunk rögzíteni. Ez a Video CD alapja, amely kb. egy jobb minőségű VHS felvételnek felel meg, egy CD-n kb. 70-75 perc anyag rögzíthető. Az MPEG-2 **műsorszórásra** lett kitalálva, a digitális tévék MPEG-2 ill manapság már MPEG-4 képet továbbítanak. Mivel azonban az MPEG-1 nem tette lehetővé a többcsatornás hangot, így már ezt is belevették az audio szabványba, tehát 5.1 hangot MPEG-2-vel már lehet kódolni (ez nem egyenlő a Dolby Digital-al!). A hordozókon is megjelent így ez a formátum, nagyobb felbontásban, jobb minőségben (SVCD, DVD). Az MPEG-1 kép és hang együttes adatfolyamat 1,5 Mbps sebességű, míg a DVD szabvány megengedi MPEG-2 adatfolyamra a 9 Mbps sebességet is, de már 4-5 Mbps is szinte tökéletes kép és hangminőséget nyújt.

A hang esetében is a bitsebességsökkentő kódolási lépést *forráskódolásnak* nevezzük (ami nem egyenlő a csatornakódolással). Ilyen az MPEG mellett az ATRAC, az ASPEC, a PASC, az Dolby AC3, a MUSICAM is (utóbbit használja a DAB).

A hangkódolás alapja kettős:

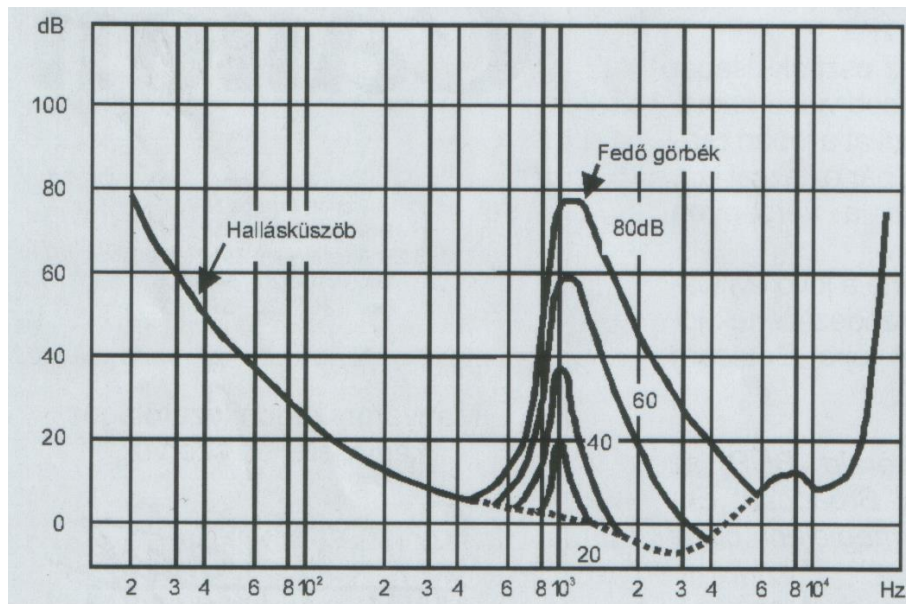
- részsávkódolás, amikor a hangjelet több részsávra osztjuk és a maszkolt (elfedett) részeket nem visszük át.

- transzformációs kódolás, amikor DCT-vel (lásd később) a frekvenciatartományba transzformáljuk a bemenő jelet, és ott végzünk szűrést.

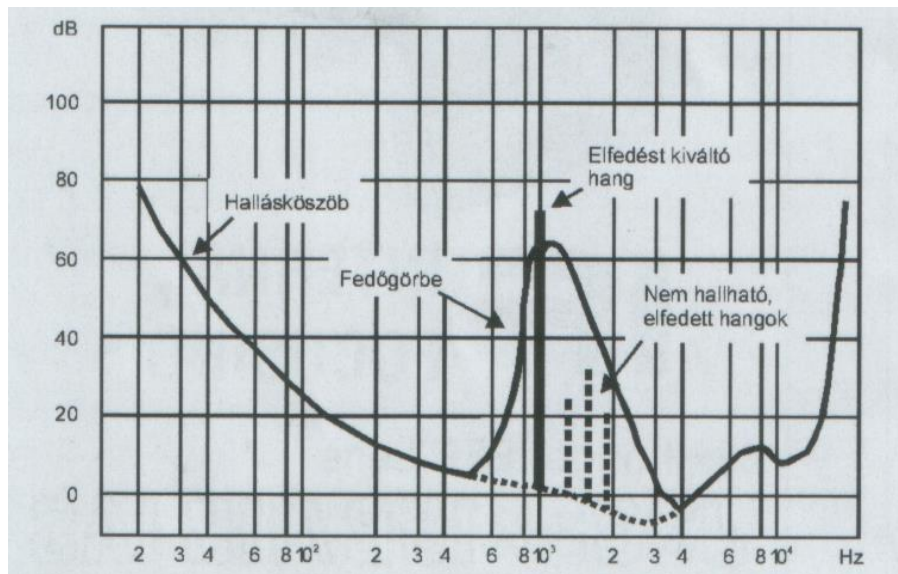
- hibrid kódolás, mely mindkettőt egyszerre alkalmazza.

A MUSICAM részsávkódolást, az ASPEC transzformációs kódolást, az MPEG mindkettőt alkalmazza (az mp3 inkább a transzformációt).

Az MPEG hang alapja a fül tökéletlenségén alapul: *elfedés* az idő- és frekvenciatartományban. Ehhez a kódolónak analizálnia kell a beérkező hangot egyrészt az időtartományban (start, stop, rövid, hosszú időablakok), másrészt a frekvenciatartományban (FFT, MDCT).



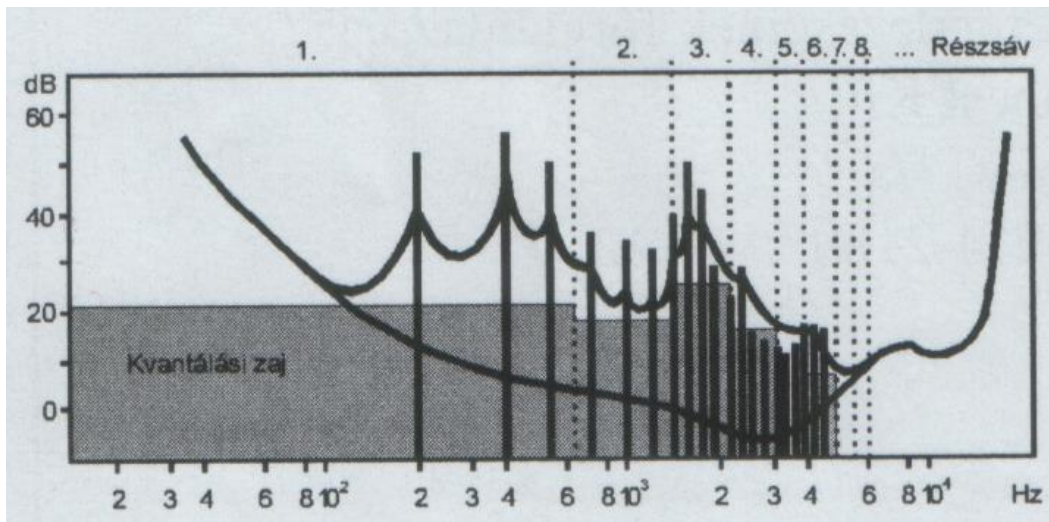
Elfedési görbék a frekvenciatartományban. A hallásküszöb megemelkedik, ha adott dB hangnyomású zavaró hang is lejátszásra kerül (1 kHz-es). Ami a görbe alatt van, az nem hallható.



Elfedési görbék a frekvenciatartományban. A hallásküszöb megemelkedik az elfedést kiváltó 1000 Hz-es jel hatására, így a mellette lévő hangok 1-2 kHz között elfedésre kerülnek, nem hallatszanak. A zene összetett és bonyolult elfedési görbét hoz létre, minden időpillanatban mást.

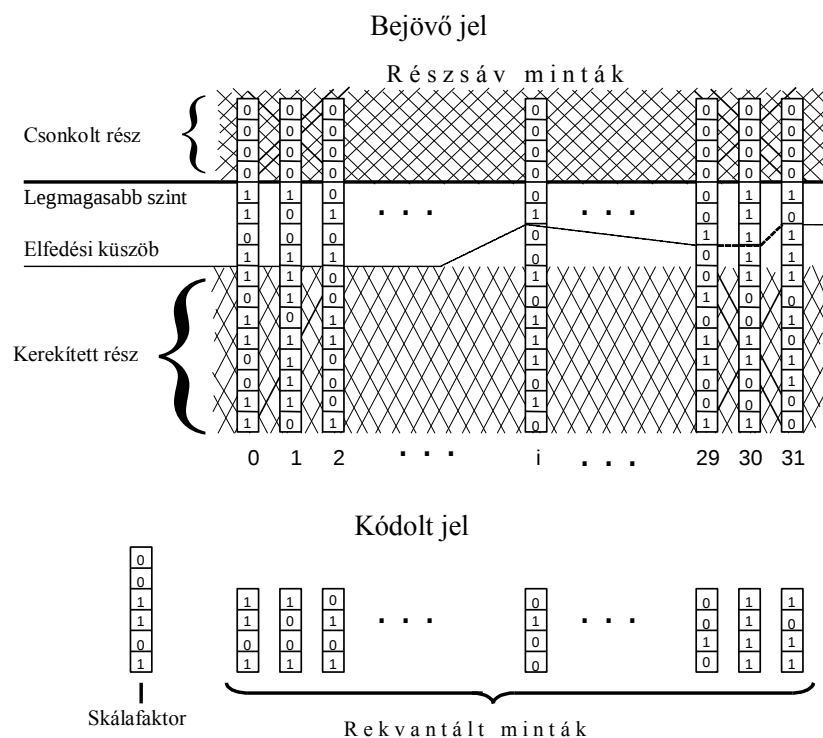
Emlékezzünk vissza a kvantálási zajra, ami számítási hiba eredménye: ha nem elég a bitszám, a hangjel lépcsős lesz. A 16 biten leírt szinuszhullám sokkal szebb, mint a 3 biten leírt lépcsőzetes fajtája, szélsőséges esetben az 1-bites szinuszel négyzetjellel torzul. Minden bit elvétele 6 dB-el rontja a kvantálási zajt. Ennek hallható és a spektrumon látható eredménye lesz: megjelennek a páratlan felharmonikusok, amit ülünk torzításként érzékel. Ne feledjük, pld. az 1 kHz-es szinuszel spektruma egy vonal, míg a szélsőséges esetben, az 1 kHz-es négyzetjelé tartalmaz 3, 5, 7, 9, 11 kHz stb. komponenseket is. Ahogy tehát elveszünk biteket az A/D átalakítás során, adatmennyiséget spórolunk (ez jó hír), de ezzel együtt a kvantálási zajt rontjuk, és a torzítást növeljük.

A kódoló a bejövő jelet két ágra szétosztja: az egyik az FFT-re megy, amely finom frekvenciafelbontás mellett meghatározza az adott időablakhoz tartozó spektrumot és abból a dinamikus (aktuális) elfedési görbéket. A másik ágon egy szűrőcsoport részsávokra bontja a jelet és előfordulhat, hogy egy részsáv teljesen elfed egy másikat: ekkor utóbbit nem kell átvinni. A másik módszer, hogy egy adott részsáv mintáit újrakvantáljuk kisebb bitszámon addig, hogy az így megnövekedett kvantálási zaj ne legyen hallható. Ezt általában akkor alkalmazzuk, ha az adott részsáv nincs elfedve és „kilóg” az elfedési görbe fölé. A hallásküszöb alatti dolgokat sem kell átvinni, itt is lehet újrakvantálást végezni. Ennek analízisa a „pszichoakusztikus modell” feladata. A végén járulékos adatcsökkentés (Huffman- vagy futamhossz kódolás – lásd később) is alkalmazható. Vannak tisztán részsáv, tisztán transzformációs és hibrid kódolók is.



A különböző rész-frekvenciasávokban ún. dinamikus elfedési görbéket számol ki a kódoló. Az alatta lévő megemelt szintű kvantálási zaj nem hallható, így mindaddig csökkenthetjük a 16-bites mintákat (akár 3-4 bitesre is), amíg az ebből származó kvantálási zaj az elfedési görbe alatt marad. Az elfedési görbék állandóan változnak, azok kiszámítása az adott időablakban történik a kódoló által.

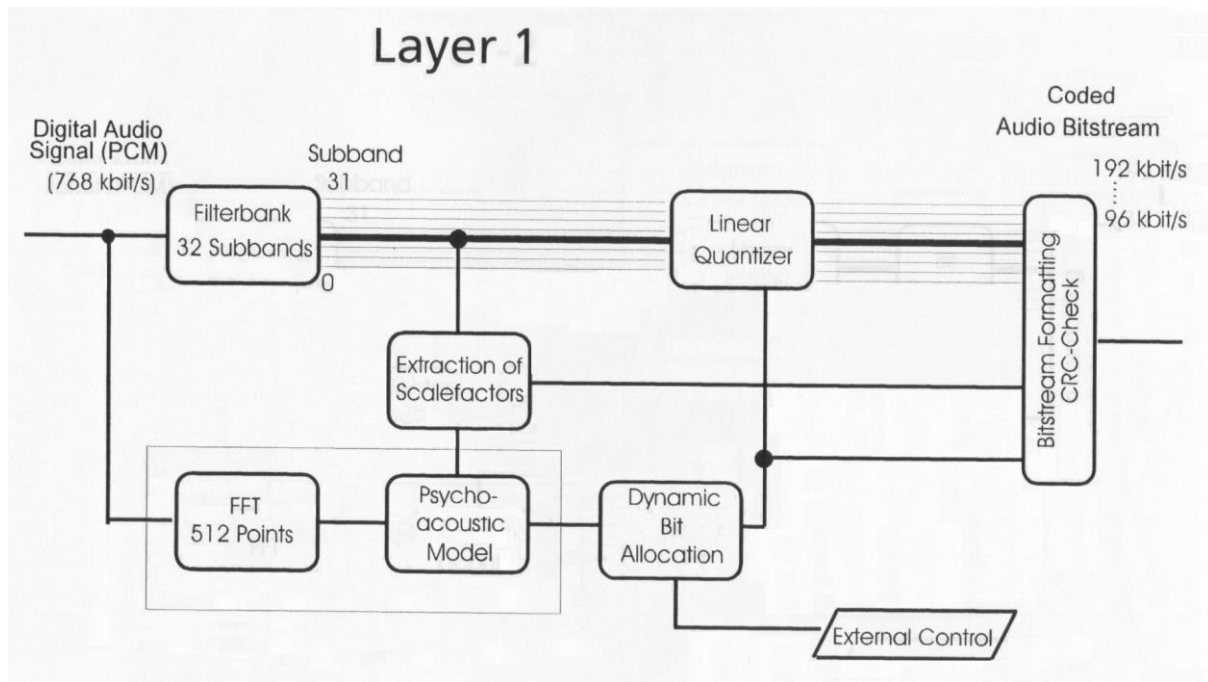
A minták tehát *alulról és felülről* is korlátozva lesznek, csonkoljuk őket. Az alsó részek (LSB bitek) elhagyása a dinamikus bitkiosztás és a rekvantáló feladata a kvantálási zajszint függvényében. Annyit lehet levágni a minta aljából, hogy az így megnövekedett kvantálási zaj, az adott ablakban és az adott sávban, ne lépje túl a pszichoakusztikus modell által kiszámolt éppen aktuális hallásküszöböt. A felülről határolás egyszerűbb, hiszen az adott sávban és időablakban a felesleges MSB-helyiértékű nulla biteket a minták tetején levághatjuk. Ha nincs kihasználva az összes 16 bit (márpedig extrém dinamikánál és hangerőnél is nagyon ritkán fordul ez elő), rengeteg felesleges nullát viszünk át. Az adott időablakban lévő minták közül a legnagyobb (lehangosabb) határozza meg a maximális amplitúdót, és az általa ki nem használt felső nullabiteket levágjuk. Ezt a tényt a skálafaktorban adjuk meg, ebből fogja tudni a dekóder, hogy mennyi nulla került kidobásra.



Mintacsonkolás MPEG hangkódolásban. A 16 bites részsávmintákat felülről is és alulról is megvágjuk. A legnagyobb minta MSB nullabitjeire nincs szükség, ezt levágjuk (és a skálafaktorban tároljuk a ténytet). Az alsó kerekítés mértékét az elfedési küszöb határozza meg. Az így létrejövő mintákat rekvantáljuk, újrakiosztjuk a biteket számukra. Ezek adják a kódolt jelet (a rekvantált mintákat) és a skálafaktort is át kell vinni.

Az MPEG-1 Layer-1 kódoló a bemenő digitális PCM folyamatot fogad. Az ábra most egy csatornára mutatja a kódolás folyamatát. A 768 kbps a stúdióból származó sebesség (48 kHz \* 16 bit), ezt fogjuk lecsökkenteni 96-192 kbps-ra.

Az eljárás során ún. részsávokra bontjuk a beérkező hangot, mégpedig 32 darab 750 Hz-es sávra 0-24 kHz-ig. Ezek azonos szélességű sávok 0-750-1500 Hz-stb...-24000 Hz-ig. Az eredeti jel bekerül a pszichoakusztikus modellbe is, ami itt csak egy blokk, de ebben van elraktározva a hallás elfedési tulajdonsága. Mivel ez frekvenciában vizsgálja a spektrumot, FFT-re szükség van. Ez a modell minden egyes részsávhoz meghatározza az ún. dinamikus hallásküszöböt (elfedési görbét), azaz azt az érvényes aktuális hallásküszöböt, amit a zene általi elfedésből kiszámolt. A skálafaktorok lesznek azok az információbitek, amelyek hordozzák ezt az információt. Ennek segítségével a bitek „újrakiosztása” (dinamikus rekvantálása) következik be. Minden részsávhoz külön kódoló van, amely vagy teljesen elnyomja a részsávot vagy kevesebb bitet oszt ki neki (csonkolás). A skálafaktor normálja az összefogott (12 minta) összes elemét a lehangosabb alapján (felülről csonkolás). Ha ez is elkészült, az egész bekerül a bitfolyam formázásba, mely szabványos keretet és sebességet ad neki, ellátja CRC ellenőrző kóddal is. Az ilyen fájlok kiterjesztése általában .mpa vagy .mp1.

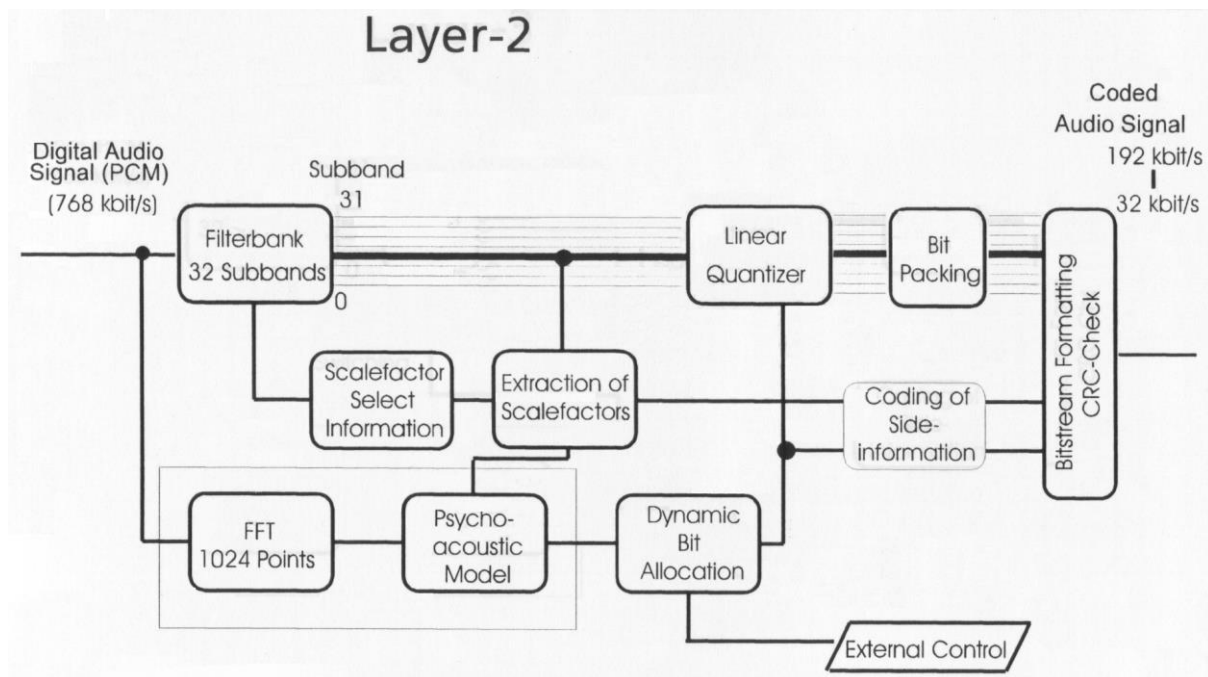


A Layer-2 valamivel fejlettebb és jobb, hiszen 1024 pontos FFT-t használ, valamint a skálafaktorok kezelése is javult: különböző skálafaktorokat lehet kiosztani kis, közepes és nagy frekvenciatartományok számára, ami a minőséget javítja, ugyanakkor bevezet egy új rendszerinformációt, a skála faktor kiválasztásához (SCFS).

Az adatokat nagyobb csoportokban kódoljuk. A kereteket  $3 \times 12 \times 32$  mintából készíti egy csatornára, ami 1152 mintát jelent. A Layer 1 tizenkét mintát fog csoportba alsávonként, míg a Layer 2 háromszor ennyit. Ezek a fájlok .mp2 kiterjesztésűk, ezt a réteget használja a DAB. Mind a Layer 1 és Layer 2 részsávkódolást alkalmaz tehát (egyikben sincs MDCT blokk!).

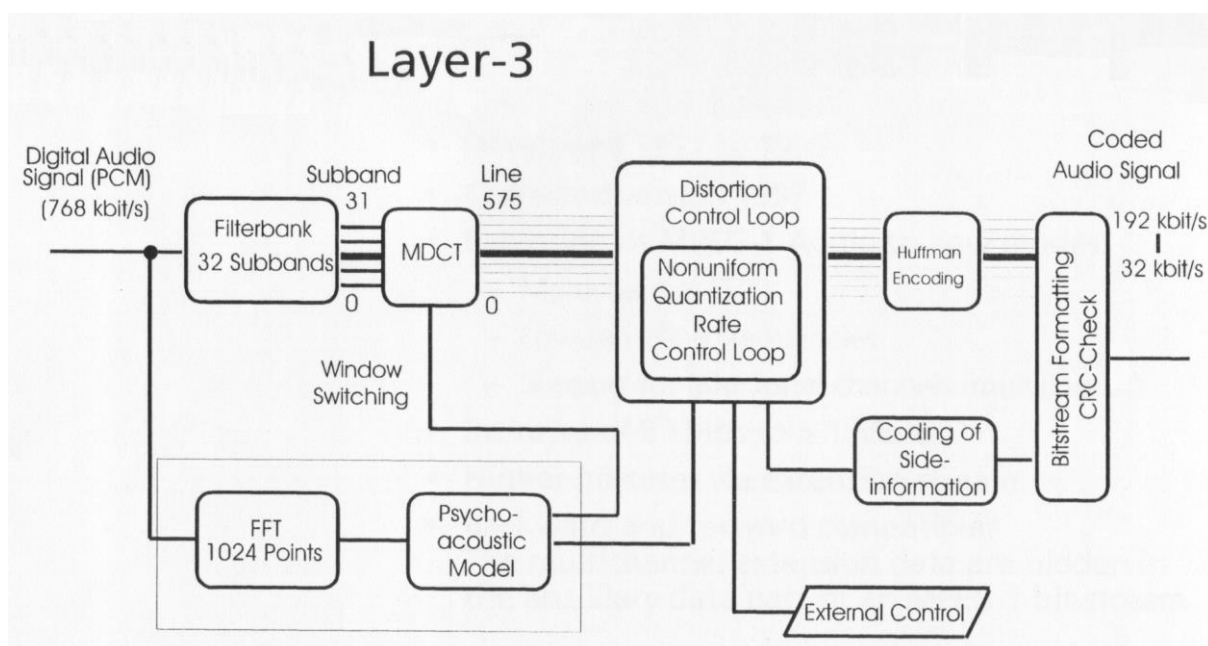
Nagyon figyeljünk arra, hogy egy teljesen elfedett részsávba eső komponens lehetséges, hogy egy korábbi el nem fedett részsáv felharmonikusa. A harmonikus összetevőket nem lehet kihagyni, a nem harmónikusokat igen.

A kvantálási zaj egyenletesen oszlik meg egy időablakban, sem a túl hosszú, sem a túl rövid nem jó, ezért léteznek különböző ablakok a szám elején (start) és végén (stop), illetve közben.



A Layer-3 az MP3. A minőség javítására beépítettek egy MDCT algoritmust is, amely bekerül egy torzítás vizsgáló hurokba, amely megvizsgálja, hogy van-e torzítás rendszerben a folyamat során. Az MDCT szűrőblokkja tovább osztja a szűrők kimeneteit a jobb spektrális felbontás érdekében. A hosszú MDCT blokk 36 mintából, míg a rövid 12 mintából áll. A rövid blokk az időtartományban hatásos (tranzienseknél).

Elvben, ha transzformációs kódolást alkalmazunk, a részsávbonthatáshoz nincs is szükség szűrőkészletre. A szűrőkészlet helyett, amely csak 32 kimeneti adatot szolgáltatott, az MDCT 256-576 teljesítményértéket produkál, ez sokkal jobb felbontás. A fenti újrakvantálást ezeken végezzük és ezeket az értékeket változtatjuk meg (Dolby AC3 ezt teszi). Az MP3 hibrid kódoló, mindkét módszert beveti. Először a szűrőblokk durván szétválogatja a komponenseket, és ezután jön a finomabb MDCT.



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 visszacsatolás révén ellenőrzi, hogy a csonkolás eredményeként lett-e torzítás vagy nem, ha igen, visszaléphet egy csonkolási lépést.

Az MP3 kódoló nyitott, azaz mindenki tetszőlegesen tud hozzá „belsőt” készíteni, így különböző kóderek különböző minőséget adhatnak (a felhasznált pszichoakusztikus modellől függően, lásd ábrák). Ami szabványos az eljárásban az a bitfolyam kerete, felépítése és a bitsebesség (128, 160, 192, 256 stb. kbps). Az új kódolók képesek VBR (variable bit rate) kódolásra is, azaz időablakonként változó bitrátát alkalmazni. Az alábbi három réteg mutatja a kódoló fejlődését, minél nagyobb egy réteg, annál jobb a minőség és/vagy annál jobban tömörít azonos sebesség mellett.

A végén előálló minták egymással szorosan kapcsolt kódba kerülnek, utólagos feldolgozás, editálás, vágás nem lehetséges, ahhoz előbb dekódolni kell az MP3 fájlt – ez viszont veszteséggel jár. Blokkon belüli műveletek helyett csak azok határán lehet vágni. Az elfedés függ a kiváltó jel nagyságától, így utólagos hangerősség változtatás során kikerülhetnek a fedőgörbék alól a zajrészek. Ezért utómunkálatos fájlknál csak kis tömörítést lehet használni. Hasonlóan, erősen romolhat az eredmény ún. tandem kódolásnál, amikor sorozatban hajtunk végre kódolást és dekódolást. A különböző tömörítők sem kompatibilisek egymással, MP3 fájlokat, ATRAC (MiniDisc) vagy MUSICAM (DAB) kódolókat csak dekódolás után lehet a PCM tartományban összekapcsolni. A többi veszteséges kódoló is a fentiekhez hasonló elven működik.

Többcsatornás esetben a csatornák közötti korrelációt is vizsgáljuk és hagyjuk el, ha lehetséges.

### 3.2 Rádiózás

A digitális rádiók is az analóghoz hasonlóan pont-terület összeköttetés jellegű, egyirányú műsorszóró hálózatok. Céljuk a jobb sávkihasználás, több adó, jobb védelem és minőség elérése digitális technikával. A legelterjedtebb a DAB, melyet a DMB Forum nemzetközi szervezet irányít és koordinál. A mai napig az alábbi szabványok léteznek (csoportosítás):

#### Digital audio broadcasting systems

- Eureka 147 (DAB)
- 'DAB+'
- FM sávú in-band on-channel (FM IBOC):
  - HD Radio (OFDM analóg FM és AM sávban)
    - FMeXtra (FM sáv IBOC alvivő)
  - Digital Radio Mondiale kiterjesztés (DRM+) (OFDM analóg FM és AM sávban)
- AM sávú in-band on-channel (AM IBOC):
  - HD Radio (AM IBOC)
  - Digital Radio Mondiale (DRM) RH, KH és HH
- Szatellit rádió:
  - WorldSpace (Ázsia, Afrika)
  - Sirius (Észak-Amerika)
  - XM radio (Észak-Amerika)

- MobaHo! (Japán és Dél-Korea)
- ISDB-TSB
- Digitális TV-hez is alkalmazott:
  - DMB
  - DVB-H
- Alacsony bitsebességű adatátvitel, analóg FM mellett:
  - Radio Data System (RDS)
- Radio pagers:
  - FLEX
  - ReFLEX
  - POCSAG
  - NTT

### 3.2.1 Digitális adatok FM-ben

A sztereó FM analóg műsorszórás az egyik legelterjedtebb, hisz viszonylag jó hangminőséget produkál, 15 kHz-ig átvész, sztereóban, amely a mono AM 3-4 kHz-es „telefonminőségéhez” képest ugrásszerű javulás. Mivel a sugárzás a spektrumban feljebb történik (88-105 MHz között pld.), van elég hely a sávban, hogy néhány digitális adatot is beleprésszünk-

A legismertebb az RDS (Radio Data System) protokoll. Megjeleníthető az idő, előadóinformáció, telefonszám stb. az evvel kompatibilis vevőkészülék kijelzőjén. A legfontosabb a program azonosítása (Danubius, Juventus stb.). Amerikában a rendszer kicsit más, de hasonló. Az 57 kHz-es segédhangvivőt használják adatátvitelre 1187,5 bps mellett, hibajavítással együtt. A legfontosabb információk ebben:

- *AF*: Alternative Frequency (alternatív frekvencia): megengedi a vevőkészüléknek a másik frekvenciára való váltást, miközben ugyanazt az állomást nyújtja, amikor az első adás jele túl gyenge. Ezt gyakran használják fel autós rendszerekben.
- *CT*: Clock Time, pontos idő.
- *EON*: Enhanced Other Networks („kiterjesztett egyéb hálózatok”): mindig a vevőkészülék felügyeli a másik hálózatokat vagy állomásokat forgalmi információkért, és automatikusan áthangolja arra az állomásra ideiglenesen.
- *PI*: Program Identification (program-azonosító): ez egy egyedi kód, ami azonosítja a rádióadót. Minden adó egy területi előtagot és egy speciális kódot kap.
- *PTY*: Program Type (programtípus): 31 előre meghatározott kódot tartalmaz. Például Európában: PTY1: hírek, PTY6: dráma, PTY11: rockzene. Lehetővé teszi a műfaj szerinti adókeresést.
- *PS*: Program Service (programszervíz): egy nyolc karakteres statikus vagy dinamikus jel, ami az állomásnevet képviseli. A legtöbb RDS-sel rendelkező rádió megjeleníti. Ha az állomást elraktározzák a rádióban, akkor el fogja rejteni ezt az információt az adott a frekvenciával.
- *RT*: Radio Text („rádiós szöveg”): evvel a rádióállomások közvetíthetnek egy 64 karakteres, szabad formájú szöveget, ami lehet például egy szlogen vagy a jelenleg játszott dal címe.
- *TA, TP*: Traffic Announcement, Traffic Program („fontos közlemény”, „fontos program”): a TP-t arra használják, hogy megengedje a hallgatónak, hogy csak azokat az adókat keresse, amik rendszeresen adnak le közleményeket, míg a TA-t az adás leállítására vagy egy fontos közlemény alatt a hangerő felemelésére vagy a magnó/CD lejátszás felfüggesztése. Sőt, egyes autók a memóriába a háttérben eltárolják az utolsó pár ilyen bejelentést, hogy a későbbiekben

Érdemes megjegyezni, hogy az AM sávban is van lehetőség sztereó adásra. Ez leginkább az USA-ban és Kanadában működik, az ún. C-QUAM moduláció segítségével, melynek során a sztereó jelrészlet (a különbségi jel: bal-jobb) QAM-el van modulálva, majd úgy alakítják, hogy még a legrégebbi burkolódetektoros vevő is fel tudja dolgozni.

### 3.2.2 DAB, DAB+

*Digital Audio Broadcasting* (Eureka 147), leginkább Angliában és Európában terjedt el. Digitális hangmüsorterjesztés, mely 1980-tól létezik, speciális vevő kell hozzá. A cél az volt, hogy a hagyományos analóg sávban működő rádiókhoz képest több adó legyen, mely érzékenyebb a zajokra, zavarokra, fadingre, csatorna egymásrahatásra, többutas terjedés hatásaira. A minőség CD minőség is lehet(ne), bár az angliai adók 128 kbps MP2-vel kódolva rosszabbak, mint az analóg FM. Ez az MPEG1 Audio Layer 2, mely e program keretében került kialakításra. A DAB volt az első rendszer, ami OFDM-et használt. A próbák után 93-94-ben került szabványosításra, 2006-ra kb. ezer adó működött.

Egy újabb, fejlettebb verzió 2007 februárjától létezik, ez a DAB+. Ehhez újabb vevő kell, a korábbi DAB vevők nem tudják venni a DAB+ adást. A hatékonysága duplája a réGINEK, mert az alkalmazott AAC+ eljárás jobb, és akár 64 kbps mellett is magas hangminőség érhető el (multichannel is lehet). Ezentúl Reed-Solomon járulékos hibajavítás is van, amitől robusztusabb. 2008-2009 környékén várhatók az indulások Európában, de 2013-ig is eltarthat a folyamat.

Analóg AM és FM rádiózásban a frekvenciakihasználás sűrű és gazdaságtalan, kevés adó fér el. DAB esetében multiplexálással és tömörítéssel (kül. bitsebességek) több adó kerülhet egy nagy bitsebességű DAB adatfolyamba. Ezáltal a spektrális hatékonyság is nagyobb (kb. négyszerese az FM-nek, de SFN esetén 17-szerese). A javasolt bitsebesség csatornánként 192 kbps.

DAB-nál a rádiók automatikusan behangolják az elérhető állomásokat (listába rendezve), és van valós idejű adatszolgáltatás is (szám cím, műfaj, trafipax), hasonlóan az RDS-hez, néhány készülékben lehetőség van ideiglenes tárolásra is (szünet funkció, és folytatás). Minőségromlás általában nem áll be a vételkörzeteknél, de a digitális jeleknél megszokott összeomlás bekövetkezhet. A korai DAB rendszer gyengébb hibajavítás tartalmaz, így ha sok a bithiba ún. „bubbling mud” hallatszik.

Szöveges adók, hírek, időjárás monóban (és alacsonyabb bitsebességgel) is mehet. SFN esetén a késleltetés akár 2 mp is lehet, ami már zavaró lehet. A DAB lefedettség elég alacsony és drága rendszer az FM-hez képest, nem nagyon van rá igény.

Mivel a DA átalakításhoz a vevőben több energia kell, mint az FM dekódoláshoz, a mobil vevők eleme hamarabb lemerül. A kombi készülékek DAB módban az FM-hez képest hatoda, tizede ideig működnek.

A DAB tipikusan a 174-240 MHz-es sávban megy vagy az L-sávban (USA), ami 1452-1492 MHz, noha 30 MHz felett bárhol mehetne. Négy üzemmódja van (de a vevő mindet ismeri):

Mode I for Band III, Earth

Mode II for L-Band, Earth and satellite

Mode III for frequencies below 3 GHz, Earth and satellite

Mode IV for L-Band, Earth and satellite

A régi DAB pontozott konvolúciós kódot használ hibavédelemre, a kevésbé fontos adatok kevésbé vannak védve. Itt sincs közvetlenül cliff-effektus, előbb a „bubbling” hallható

a vétel megszűnésével. A DAB+ Reed-Solomon kódot használ külső kódolónak, ezen belül van a szokványos belső kódoló (ugyanaz mint a DAB-nál). A külső kódolás része a bájt-alapú (viszonylag mély) átszövés, melyet a RS dekóder megpróbál a deinterleaving után kijavítani. Moduláció OFDM és digitális QPSK. Mode I-ben 1536 alvivő van, párhuzamosan sugározva. 1 kHz-es alvivő sávszélesség mellett, 1 msec a hasznos szimbólumidő. A teljes OFDM sávszélesség 1537 kHz. A védőintervallum 246 mikrosek, azaz a teljes szimbólumidő 1,246 msec. Ez kb 75 km-es adótávolságot ad ki SFN esetén.

Az alábbi szolgáltatások lehetnek egy multiplexben:

- Primary services, a rádióadók
- Secondary services, pld. sportkommentárok
- Data services
  - o Electronic Programme Guide (EPG)
  - o HTML oldalak, képek ('Broadcast Web Sites')
  - o Diavetítés
  - o Video
  - o Java Platform Applications

A magyarországi helyzet 2015-ben új lendületet mutat. Ez egy nem kötelező érvényű analóg-digitális átállás lenne a rádiózásban is. Ennek elsősorban környezetvédelmi okai vannak, az analóg rádiók ugyanis nagyon rossz hatásfokúak. A solti adó 2MW-al sugároz, de 10MW a felvétele. Az FM rádiók jobbak, de itt se éri el a hatásfok a hetven százalékot. Továbbá, a frekvencia kihasználás is hatékonyabb, egy analóg helyen 10 digitális is elférhet (továbbá, járulékos adatszolgáltatás is).

Hazánkban 1995-ben indult a teszt, de érdeklődés hiányában elhalt, jelenleg is nagyon kevés a vevő (még az autókban is). Az adás idáig csak Budapesten volt elérhető, a vevő drága, a választék szerény volt. Az Antenna Hungária 2 éven belül szeretné az országos lefedettséget.

Addig hét közszolgálati rádió van a multiplexben, a VHF D1-es csatornáján (222,64 MHz), amelyet három pesti adó lát el egyenként 250W-al. 4 Ez a DAB+ szolgáltatás T-DAB földfelszíni adást jelent, 1,5 MHz-es sávszélességben, maximum 1152 kbps sebességgel. Jelenleg a sebesség csak 576 kbps, ami 48-128 kbps sztereó csatornából áll össze. Az AAC hatékonysága miatt ez közel CD minőségű hangot jelent. Lehetőség van SFN sugárzásra, amely analógban nem megoldható.

### 3.2.3 DMB

A DMB (Digital Multimedia Broadcasting) szabvány tartalmazza a DAB-hoz kapcsolódó szolgáltatásokat, amelyek alkalmasak mobil vételre (rádió és Tv is), mivel támogatják az MPEG4 AVC és WMV9 videókodeket. Egy DMB videó alcsatorna könnyedén hozzáilleszthető bármely DAB átvitelhez, Koreában pld. MP2 hangmód mellé illesztik a DMB videót.

A DMB európai technológia, mely digitális rádiózás mellett multimédiatartalmat (képet, adatot) is továbbíthat mobil vevőkészülékekre. Kifejlesztése dél-koreai, mint egy következő generációs technika (Next Generation Network), amely leváltaná az analóg FM-et. A „mobil tv”-ként is ismert rendszer 2005-ben mutatkozott be.

A működés lehet műholdas (S-DMB) vagy földi (T-DMB) és mutat némi hasonlóságot a DVB-H-hoz.

T-DMB esetén a VHF (III. sávot) és az L-sávot használják, mint a DAB (lásd feljebb). Videóhoz MPEG4/H.264 kóder kell és MPEG4-Part 3 vagy AAC V2 a hangkódoláshoz, a kettő pedig együtt egy MPEG2 TS-ben van. RS védelem és konvolúciós átszövés is van és a

DAB adatsugárzási módban kerül kisugárzásra. OFDM és DQPSK modulációval. A vevőben van MPEG2 TS demultiplexer.

Koreában a T-DMB 7 TV, 12 rádió és 8 adatcsatornát sugároz, összesen hat multiplexben a VHF csatornában. Az S-DMB rendszerükben 15 Tv, 19 rádió és 3 adatcsatorna van, de előfizetéses alapon az utóbbi. Vevőket beépítik a kocsiba, mobilokba, hordozható eszközökbe, sőt laptopokba is, mára 14 millió vevőt adtak el és a telefonok 40%-a kompatibilis a rendszerrel.

### 3.2.4 DRM

A DRM (Digital Radio Mondiale) olyan digitális rádiótechnika, amely a jelenlegi AM analóg sávban működik, leginkább rövidhullámon (de közép és hosszúhullámon is mehet). Több adó lehetséges, jobb minőség ugyanakkora csatornasávszélesség mellett, mert különböző MPEG4 kodeket használhatunk.

Ugyanez a neve a nemzetközi konzorciumnak is, mely a közvetítő szerepet ellátja. A lényeg, hogy míg a sávszélesség limitált és drága (különösen a frekvenciaspektrum alján), addig a számítástechnikai kapacitás olcsóbb, így nagy számításigényű dekódolás és tömörítés megoldható.

A DRM minősége az FM-hez hasonló, de 30 MHz alatti sávban használható és így a terjedés messzire megoldható. Mindehhez a már meglévő AM technika egy része megtartásával (adók, antennák), de a fading ellen érzéketlenebb. A DRM+ a VHF sávban fog üzemelni, nagyobb sávszélesség mellett majdnem CD minőségű hanggal, sőt, egy alacsony sebességű mozgóképet is befér (2009 után).

A hang mellett adatot is lehet továbbítani, mint az RDS vagy éppen a programfüggő adatok, ahogy a DAB is teszi. Lehetőség van hibrid módra, azaz Single Channel Multicast, amikor simulcastban analóg és digitális jel is megy.

Eleinte a DRM vevők tipikusan számítógépek voltak, de már kaphatók asztali készülékek is (2006).

Hasznos bitráta DRM-ben 6,1 kbps-től (Mode D) 34,8 kbps-ig (Mode A) terjed, egy 10 kHz-es csatornában. Lehetőség van 20 kHz-esben 72 kbps-t is elérni. (HD rádió 20 kbps-t ill. 60 kbps-t tud ugyanezekben, lásd később). A robosztusságot (hiba elleni érzéketlenség) is figyelembe véve az alábbi forráskódolási eljárásokat használják:

- MPEG-4 HE-AAC (High Efficiency - Advanced Audio Coding). AAC egy érzeti kódolás zenéhez és beszédhez, és a High Efficiency egy opcionális kiterjesztés a nagyfrekvenciák rekonstrukciójához. (SBR: spectral bandwidth replication) and stereo image (PS: Parametric Stereo). 24 kHz vagy 12 kHz mintavételi frekvencia használható az alap AAC-hez (SBR nélkül) amely megfelel 48 kHz és 24 kHz-nek ha SBR túlmintavételezést használunk.
- MPEG-4 CELP csak beszédhez (vocoder), de robosztus kis bitsebesség mellett is.
- MPEG-4 HVXC ugyanaz de még kisebb bitsebesség mellett, mint a CELP.

A leggyakoribb mód a HE-AAC (AAC+), amely FM-közeli minőséget ad. A sávszélesség is lehet változó:

- 4,5 kHz vagy 5 kHz. Lehetőség van a teljes 20 kHz-es csatornát használni simulcast-hoz, plusz 5 kHz DRM signal. A végeredmény minősége nem túl jó: (7.1-16.7 kbit/s 5 kHz esetén).

- 9 kHz vagy 10 kHz, ami fele a standard AM csatornának (14.8-34.8 kbit/s 10 kHz esetén).
- 18 kHz vagy 20 kHz, ami pont megfelel egy csatornának. Egy csatorna és egy adó esetén ez a legjobb minőségű (30.6-72 kbit/s 20 kHz esetén).

A moduláció COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), ahol minden vivő QAM (64, 16 vagy 4QAM) változtatható hibajavítással. Az átviteli paraméterek választása függ a kívánt robosztusságtól, terjedési viszonyoktól. Zaj, interferencia, többutas terjedés és Doppler-el kell számolni. Az OFDM alvivők távolsága megadja a Doppler elleni védelem mértékét (minél nagyobb, annál jobb), a védő intervallum hossza pedig a többutas terjedés ellenit. Négyféle profil van:

- A: Gauss-zajos csatorna kis többutas terjedéssel és Dopplerral. Lokális és regionális adóknak.
- B: Többutas terjedésű csatorna. Közepes távolságú átvitel, a leggyakoribb mód.
- C: mint a B, de Doppler ellen jobban véd (nagyobb alvivő távolság). Nagy távolságú átvitelhez.
- D: mint a B, de ellenállóbb a késleltetések és szóródások ellen. Nagyon nagy távolságú átvitelhez. A hasznos bitsebesség itt kicsi.

| Mode     | OFDM alvivő táv (Hz) | Vivőszám |        |        |        | szimbólumhossz (ms) | GI hossz (ms) |
|----------|----------------------|----------|--------|--------|--------|---------------------|---------------|
|          |                      | 9 kHz    | 10 kHz | 18 kHz | 20 kHz |                     |               |
| <b>A</b> | 41.66                | 204      | 228    | 412    | 460    | 26.66               | 2.66          |
| <b>B</b> | 46.88                | 182      | 206    | 366    | 410    | 26.66               | 5.33          |
| <b>C</b> | 68.18                | *        | 138    | *      | 280    | 20.00               | 5.33          |
| <b>D</b> | 107.14               | *        | 88     | *      | 178    | 16.66               | 7.33          |

Hibajavítás megválasztásakor a robosztusságról döntünk, minél alacsonyabb az osztály, annál magasabb a hibavédelem.

| Védelmi osztály | A (9 kHz)   | B (9 kHz) | B (10 kHz) |        | C (10 kHz) |        | D (10 kHz) |        |
|-----------------|-------------|-----------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
|                 | 64-QAM      | 16-QAM    | 16-QAM     | 64-QAM | 16-QAM     | 64-QAM | 16-QAM     | 64-QAM |
| <b>0</b>        | 19.6 kbit/s | 7.6       | 8.7        | 17.4   | 6.8        | 13.7   | 4.5        | 9.1    |
| <b>1</b>        | 23.5        | 10.2      | 11.6       | 20.9   | 9.1        | 16.4   | 6.0        | 10.9   |
| <b>2</b>        | 27.8        | -         | -          | 24.7   | -          | 19.4   | -          | 12.9   |
| <b>3</b>        | 30.8        | -         | -          | 27.4   | -          | 21.5   | -          | 14.3   |

A DRM-nek létezik egy nem szabványos kétirányú kommunikációs verziója is.

### 3.2.5 Internetrádiók

Az internet is biztosít lehetőséget, streamingelt formában (winamp radio). Ez esetben szoftveres lejátszó kell. Az adók között nagy számban válogathatunk (több száz), tematikus és műfaj szerint, a minőség is eltérő lehet (kiválótól a gyengéig). Általában reklám és beszédmentesek, csak zene megy.

### 3.2.6 HD Radio

A HD Radio rendszer esetén AM és FM rádióadók digitális hangot is továbbítanak az analóg jellel együtt (simulcast) ugyanabban a csatornasáv szélességben. Angolul IBOC-nak rövidítik (In-Band On-Channel) az eljárásokat, melyek ugyanabban a sávban simulcast továbbítanak analóg és digitális rádióadatot. A lényeg, hogy bár a digitális adat használ újabb alvivőt vagy oldalsávot, de csak „hozzá van csapva” az analóghoz és nem kell megsérteni a szabványos kiosztásokat (persze ezzel átlóghatnak a szomszéd csatornába, vagy FM esetén a sztereóóról való lemondással járhat, AM sztereó esetén pedig egyáltalán nem működik együtt és csak rossz minőségű extra szöveges információ vihető át így). A DRM is az IBOC-családba tartozik, de a DAB nem. Bár a HD radio szolgáltatás ingyenes, új vevőre szükség van, mára több ilyen adó van mint az összes többi digitális rádiózás összesen. A „HD” hibrid digitális jel, nem high-definition-t, habár 5.1 hangot is lehet vele továbbítani.

COFDM-t használ ez is, de a kódolási módszer neve HDC, ami nem kompatibilis az MPEG4-el, és egyszer kell egy jogdíjat fizetni az adónak. Ha a digitális rész elveszik, vagy nincs, a vevő analóg módra kapcsol vissza. Metadata átvihető. Sebesség általában 20 kbps.

AM sáv esetén 20 kHz-el gazdálkodhatunk (az USA-ban), a használt HDC+SBR kodekek kb. FM minőségű, 15 kHz-es sáv szélességű hangot lehet átvinni. A spectral band replication (SBR) eljárás bármely audio kodekhez használható. A kodek az alacsony- és a középfrekvenciás tartalmat viszi át, mialatt az SBR nagyfrekvenciás tartalmat hoz létre úgy, hogy felharmonikusokat transzformál az alsóbb részekből a dekóderben. Némi információ ehhez a rekonstrukcióhoz átvihető (spektrumburkoló). Az ötlet onnan van, hogy a hallás a nagyfrekvenciás információt kevésbé pontosan dolgozza fel, így ezeka harmonikusok létrehozása csak érzékelési szempontból jelentős, nem pedig matematikailag egzakt. Ezt használja az mp3PRO eljárás is. Amennyiben ez a plusz info elveszik vagy nem dekódolható, a végeredmény lehet rosszabb minőségű (aluláteresztő jellegű).

Legtöbbször a robosztusabb 40 kbps verziót használják a 60 kbps helyett. Lehetséges csak digitálisban is adni, ekkor rossz vétel esetén nem analógba kapcsol, hanem 20 kbps módba. Az AM adók távolsága az USA-ban 10 kHz, Európában 9 kHz, ha hibrid módban adnak, a digitális adat „átlóg” a szomszéd csatornába. Ez, alacsony jelszinteknél nem okoz zavaró hatást (fészakszerű sutyorgás).

Az FM hibrid adásmód négy üzemmódot ismer: kb. 100, 112, 125, or 150 kbit/s veszteséges tömörítést. A csak digitális mód elérheti a 300 kbps-t is (surround mód), és vételromláskor 25 kbps módba „esik vissza”. FM-ben alcsatornákat, aladókat is lehet definiálni, tisztán digitális adás esetén lehetőség van pld. 3 teljes műsorra, 4 alműsorra, és a minőség lehet CD (100 kbit/s), FM (25-50 kbit/s), AM (12 kbit/s), vagy beszéd (5 kbit/s).

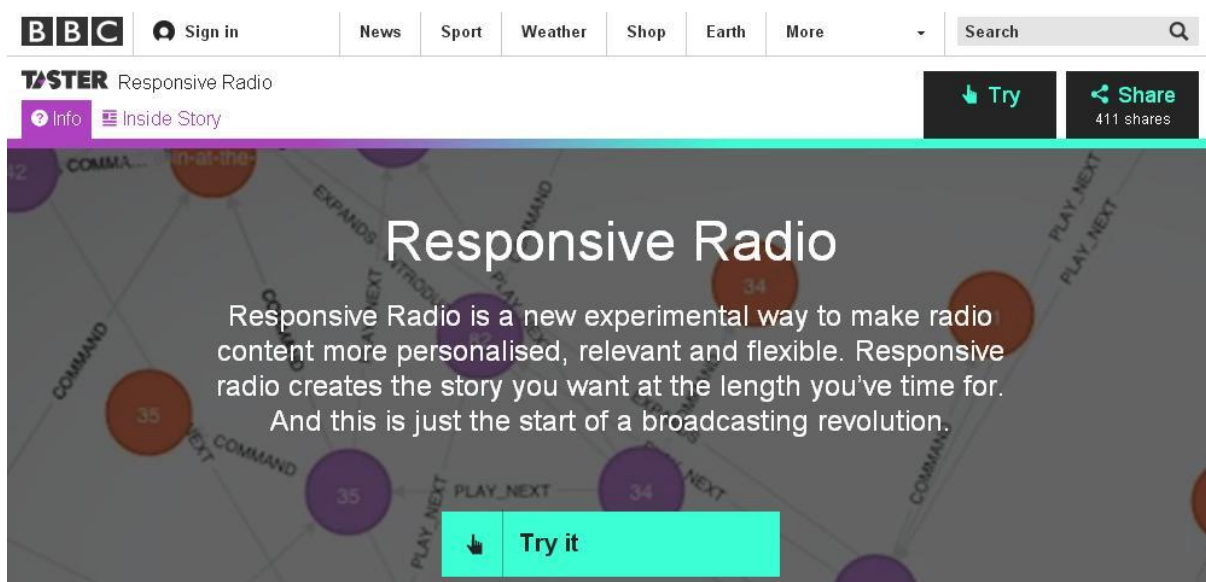
Sáv szélességet nézve láthatjuk, hogy az USA-ban az analóg FM adók 130 kHz-es sávjához 260 kHz spektrumot foglalnak el. 15 kHz a mono modulációs sáv szélesség, a többi a sztereóé, RDS stb. Hibrid módban a  $\pm 130$  kHz analóg sáv szélesség mellé jön egy extra  $\pm 70$  kHz a

digitális jelnek ami összesen 400 kHz. A teljesítmény arány 100:1-hez az analóg javára, de javasolják ennek 10 dB-es javítását (90:10), ami erősen javítja a digitális minőséget. A szomszédos sávba való átlógás épp ezért itt sem komoly gond.

Európában, ahol a DAB és a DRM elterjedtebb, a szabályozás nehezebben oldható meg. A DRM nagyon hasonló az AM HD-hez paramétereit tekintve. DRM bitsebességek azonban erősen függnék a napszaktól és (a DAB-hoz meg a HD-hez hasonlóan) rövidül a besugárzási távolság hibrid módban (az analóg AM-hez képest), rossz vételi viszonyok kocsiban és épületekben, és interferencia más csatornákkal.

Az IBOC-hoz tartozik még a CAM-D eljárás is (Compatible AM Digital), amely a magas frekvenciákat, amelyek hiányoznak az AM sáv szélességből extra digitális kóddal adják hozzá az analóg AM jelhez, amely a szomszédos adót alig zavarja. Viszont ez nem működik együtt az AM sztereóval, kevés a vevőkészülék hozzá, és feltehetőleg piacilag nem állja meg a helyét a HD rádióval szemben.

A BBC Responsive Radio címmel próbál interaktív adásokat létrehozni, érdemes az első tesztek az interneten kipróbálni. A hallgató képes beavatkozni a műsorfolyamba, elsősorban annak hosszába és időzítésébe. Ugyanaz a műsor, többféle hosszban is elérhető, pl. 15-24 perc közötti időtartamban, attól függően mennyire érdekel minket és mennyi időnk van rá.



### 3.2.7 Tv-k digitális kísérőhangjai

A tévétechnikában a digitális technika a hangoknál jelent meg először, ill. a járulékos adatátviteli szolgáltatásoknál (Teletext).

Az egyik legismertebb ilyen kísérő hang a NICAM (Near Instantaneous Companded Audio Multiplex). Az egyik kezdetleges formájú veszteséges tömörítési eljárás, melyet a 70-es években pont-pont összeköttetésekre találtak ki (a műsorszóró hálózaton belül). Később sztereó kísérőhang lett belőle, a BBC kezdte 728 kbps sebességgel. A mono kompatibilitás végett egy alvivőt használnak a hangvivő mellett, azaz az analóg FM tévéhang is megmarad. Négy üzemmódja van:

- egy digitális sztereó sáv

- két mono digitális (bilingual)
- egy digitális mono és egy 352 kbps adatcsatorna
- egy 704 kbps adatcsatorna

A NICAM adatsomag is védett az átviteli hibákkal szemben (fehérzajszerű véletlen spektrumúvá alakítják. 14 bites, 32 kHz a felbontás, a felső határfrekvencia 15 kHz, de a 14 bites PCM hang 10 bitesre van tömörítve. A kisugárzási szint 20 dB-vel kisebb a NICAM számára, mint a képvivő (az FM hang -13 dB). A moduláció QPSK.

A sokcsatornás hangtechnika a moziból (és a DVD világából) érkezett a televíziózáshoz is. Megvalósításához DVB platform és viszonylag nagy sávszélesség szükséges. A legismertebb ilyen hangsáv a Dolby Digital, amely szabvány szerint 5.1 sávot hordoz bitstream formátumban, néhány száz kbps sebességgel. A HDTV adásokhoz és műholdról gyakran érkezik már ilyen kísérőhang, sokszor fizetős csatornákhöz (filmek), és a dekódoláshoz külső házimozsi erősítőre van szükség, digitális kapcsolattal. Ez utóbbi leggyakrabban optikai, néha koaxiális SPDIF, manapság és a jövőben inkább HDMI.

Az MPEG2 szabványban is van multichannel 5.1 szolgáltatás, de ezt ritkán alkalmazzák. Nem kompatibilis, hanem konkurenciája a Dolby AC3-nak. Utóbbi azonban jobban elterjedt a DVD és a filmvilágban, így ez az elterjedtebb.

Léteznek egyéb, a tévénél nem alkalmazott veszteséges, de jobb minőségű sokcsatornás hangformátumok, mint a dts vagy az SDDS. Ezek DVD lemezekre és a moziban hallatók, sőt, 6.1, 7.1 rendszerek is léteznek. A HD technika és a Blu-ray lemezek a HDTV-t meghaladó képfelbontást és hangminőséget garantálnak, 7.1 sávval, már veszteségmentes tömörítésekkel is (dts HD audio, master audio, Dolby Digital TrueHD stb.). Televíziónál még szóba jöhet az MPEG4 kép- és hangtömörítés, de ennek létjogosultsága és elterjedése még a jövő kérdése.

## 4. Digitális képműsorszórás

A képműsorszórás, hasonlóan a hanghoz, a nagy bitsebességigény miatt forráskódolásra, veszteséges tömörítésre szorul. Veszteségmentes eljárások csak a stúdiótechnikában vannak, hordozóra íráskor (DVD, Blu-Ray), ill. műsorszórás esetén erőteljes tömörítés szükséges. A több száz Mbps sebességről néhány Mbps-ra megyünk le, vagy akár még lejjebb is. A példa kedvéért: az SDTV stúdiótechnikai felbontása 270 Mbps, a tömörítetlen HDTV pedig legalább 800 Mbps. Ezt nem lehet átvinni, kisugározni a „normális” sáv szélességek mellett.

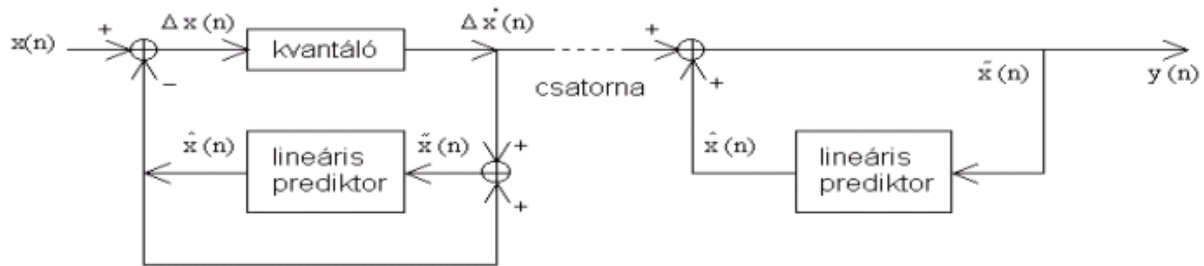
A 270 Mbps úgy jön ki, hogy Y-jelre 13,5 MHz-es mintavételi frekvencián, míg a két színkülönbségi jelre ennek felét, 6,75 MHz-et veszünk, mindháromra 10 bites színmélységet. Ekkor:  $13,5 \cdot 10 + 6,75 \cdot 10 + 6,75 \cdot 10 = 270$ .

### 4.1 Forráskódolás

Forráskódoláskor az emberi szem tulajdonságait használjuk ki, azt a tényt, hogy szemünk a nagyfrekvenciás képtartalomra érzéketlenebb. Ilyenek az éles kontúrok, átmenetek, élek a képen vagy a sűrű csíkozás. Ezek leírásához kevesebb bitet használva tömöríthetünk, hasonlóan ahhoz, ahogy hang esetén mp3-nál is a kvantálási lépcsőket rontottuk el direkt, megnövelve a kvantálási zajt. Kép esetén is meg kell keresnünk a képen (2D-ben) a szemük számára kevésbé észlelhető nagyfrekvenciás részeket, és az azokhoz tartozó komponenseket kevesebb bittel leírva direkt elronthatjuk a kvantálási lépcsőket. Ehhez egy két-dimenziós, a Fourier-transzformációhoz hasonló műveletet kell elvégeznünk, amely a pixelek világosság ill. RGB értékeit (ez tulajdonképpen egy 2D időfüggvény) az ún. „képfrekvenciák” tartományába viszi át. Ez a művelet a DCT (Diszkrét Koszinusz Transzformáció), és ez alkotja a JPG képek alapját.

#### 4.1.1 Állóképek kódolása

Mielőtt a veszteséges JPEG eljárást bemutatnánk, érdemes megismerni a DPCM elvű, elvben veszteségmentes eljárást, amely önmagában is használható, de része a JPEG szabványnak is. Ilyenkor megmaradunk a PCM elvnél, de azt differenciálisan kódoljuk, csak a különbséget visszük át pixelről pixelre egy előzetes becslés alapján. A PCM kódolók nem használják ki azt a tényt, hogy „normális” képek esetén a szomszédos minták egymással korreláltak, hasonlóak. Nem fog ezek világosságértéke ugrásszerűen változni pixelről pixelre. A DPCM kódoló (Differential PCM) a differencia, a különbség átvitelén és tárolásán alapul. Ilyenkor nem az átvíendő minta (pixel) értékét kódoljuk, hanem csak egy ún. hibajelét. Ez a hibajel egy predikció, előrejelzéses becslés eredménye. Az aktuális (átvitelre szánt) minta értékét megbecsüljük az öt megelőzőből (vagy környezetében lévőkből). Minél több, távolabbi mintát használunk fel a becslésre, annál jobb lesz a minőség és annál több számítási időt fog igénybe venni. 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 kódoló, amely a JPG szabványban is megtalálható.

A legegyszerűbb esetben a becslés legyen egyenlő az előző pixel értékével (a tőle balra esővel). Ha annak világosságtartalma pld. 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 kettes 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 hibaérték 12 – ez pedig megjelenítési hibához vezet. Ehhez ugyanis négy bitre 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, amelyeket majd ebből fogunk predikálni. Ez a képen erősebb „foltosodásban” mutatkozik meg, ellentétben a PCM képek apró pixelhiba-pöttyeivel.



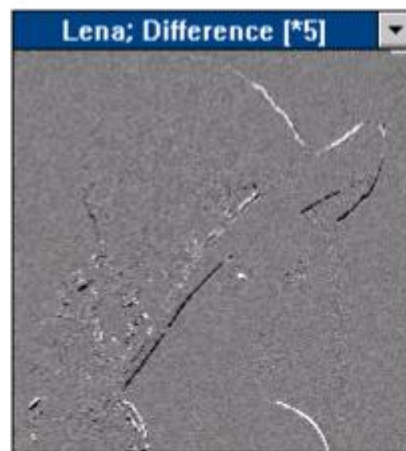
*8 bites PCM bemenet*



*3 bites PCM kimenet*



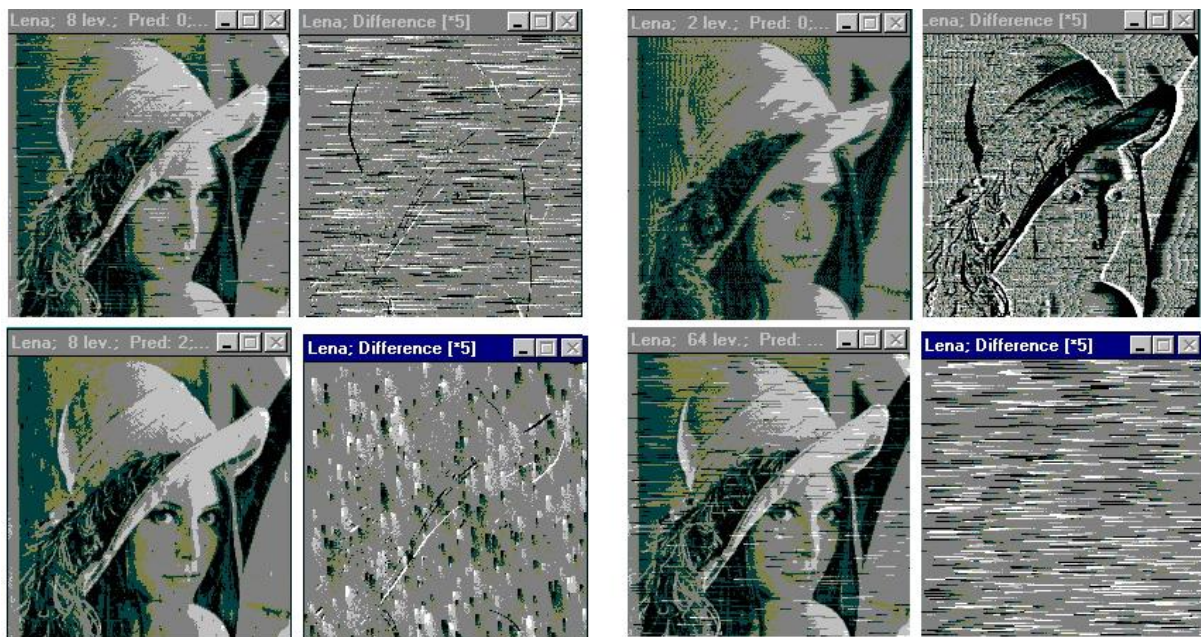
*3 bites DPCM kimenet*



*különbség a bemeneti és a DPCM kimeneti kép között*

Balra fent az eredeti 8 bites PCM kép, mellette a 3 bites PCM kép, ahogy már korábban is láttuk. Balra lent a 3 bites helyreállított DPCM kép, amely sokkal jobb minőségű. Ezt a képet a jobbra lent lévő ún. különbségi képből rekonstruáltuk, amelyet ténylegesen eltárolunk. Ennek a képnek az információtartalma kicsi, tulajdonképpen a bal felső és a bal alsó kép közötti pixelenkénti kivonás eredménye.

A DPCM kódolás alapján *veszteségmentes* eljárás. Amennyiben újrakvantálást nem alkalmazunk, csak kódolást, akkor az eredeti mintaérték hibamentesen visszaállítható a predikált értékből és a hibajelből. Veszteség csak akkor léphet fel DPCM kódolóban, ha kódolás előtt kvantálunk, kerekítünk és – a fentiekben leírtak alapján - adott bithosszúságra csonkoljuk a hibaértéket. A csatorna okozta hibák csóvásodás formájában tovaterjednek. Ezek iránya a predikciótól függ: ha „balról” predikálunk, akkor vízszintesek, ha felülről is, akkor átlósak.



0,5% csatornahiba hatása „balról” és „balról és felülről” predikálva (8 szintű különbségi kép, bal oldal), illetve csak „balról” predikálva (2 és 64 szintű képek esetén, jobb oldal).

Mint említettük, a JPEG szabvány tartalmazza a DPCM kódolást és lehetőségünk van ilyen, veszteségmentes eljárás alkalmazására is (pld. orvosi diagnosztika, csillagászati képek). Az általános felhasználáskor azonban JPEG képeket BMP-ből állítunk el veszteséges eljárással a nagy tömörítés érdekében. Ilyenkor is az emberi érzékelés tulajdonságait vesszük figyelembe: azt a tényt, hogy a nagyfrekvenciás képtartalomra szemünk érzéketlenebb. Ennek következménye, hogy ha a képtartalmat sikerül egy megfelelő analízátorral, matematikai transzformációval úgy alakítani, hogy megtaláljuk ezeket a nagyfrekvenciás részeket, azok számára nem szükséges annyi bitet adnunk, mint a kisfrekvenciás komponenseknek. Olyan ez, mintha hang esetén a mélyhangokat 16 biten, a magasakat meg csak 4 biten rögzítenénk (ezt persze nem tesszük meg). Hogy pontosan melyik komponenst hány bittel érdemes leírni, tartalmazza a szabvány. Az ehhez szükséges matematikai műveletet DCT-nek nevezzük, amely egy 2D Fourier-transzformációnak felel meg, célja hogy a pixelek értékét (az „időfüggvényt”) a képfrekvenciák tartományába transzformálja, hasonlóan ahhoz, ahogy egy FFT is megteszi a hanghullám mintáival. Ne feledjük ennek célját: a keletkezett spektrum megmutatja, hogy az alapfüggvényekből (amelyek a tiszta szinuszos rezgések a Fourier sorban) mennyit kell összekevernünk ahhoz, hogy az eredeti hangot kapjuk. A DCT után szintén ezt fogjuk látni: mely alapfüggvényekből mennyit kell vennünk, csak itt az alapfüggvények nem 1D szinuszhullámok, hanem 2D megfelelőik. Ez a JPEG kóder.

A JPEG kóder blokkvázlata mutatja a folyamat alapvető lépéseit. Elsőként a képet 8x8-as blokkokra osztjuk. Minden egyes ilyen 8x8-as pixelmátrix átmegy a DCT kódolón, amelynek kimenete szintén egy 8x8-as mátrix, csak nem „időfüggvényt”, hanem a térfrekvenciás komponensek (alapfüggvények) együtthatóit tartalmazza. Jegyezzük meg jól, hogy ez a transzformáció nem veszteséges! Sőt, az eredetileg 64 darab 8 bites pixelértékek helyett most 64 darab 11 bites számot kapunk, tehát nem hogy nem tömörítünk, hanem még nő is adatmennyiség, ideiglenesen. A veszteséges tömörítést, az újrakvantáláskor végezzük, amikor ezeket a 11 bites számokat kevesebb bittel írjuk majd le. Ha az is kész, egy redundancia-kódolóval futamhossz-kódolást valósítunk meg (ez is veszteségmentes lépés). Utóbbi nagyon hatékony. Más szóval, egy ZIP lépés be van építve a JPEG kóderba, ezért JPG képeket tovább tömöríteni ZIP vagy RAR tömörítővel nem lehet hatékonyan (sőt, néha nagyobb az így keletkezett fájl).



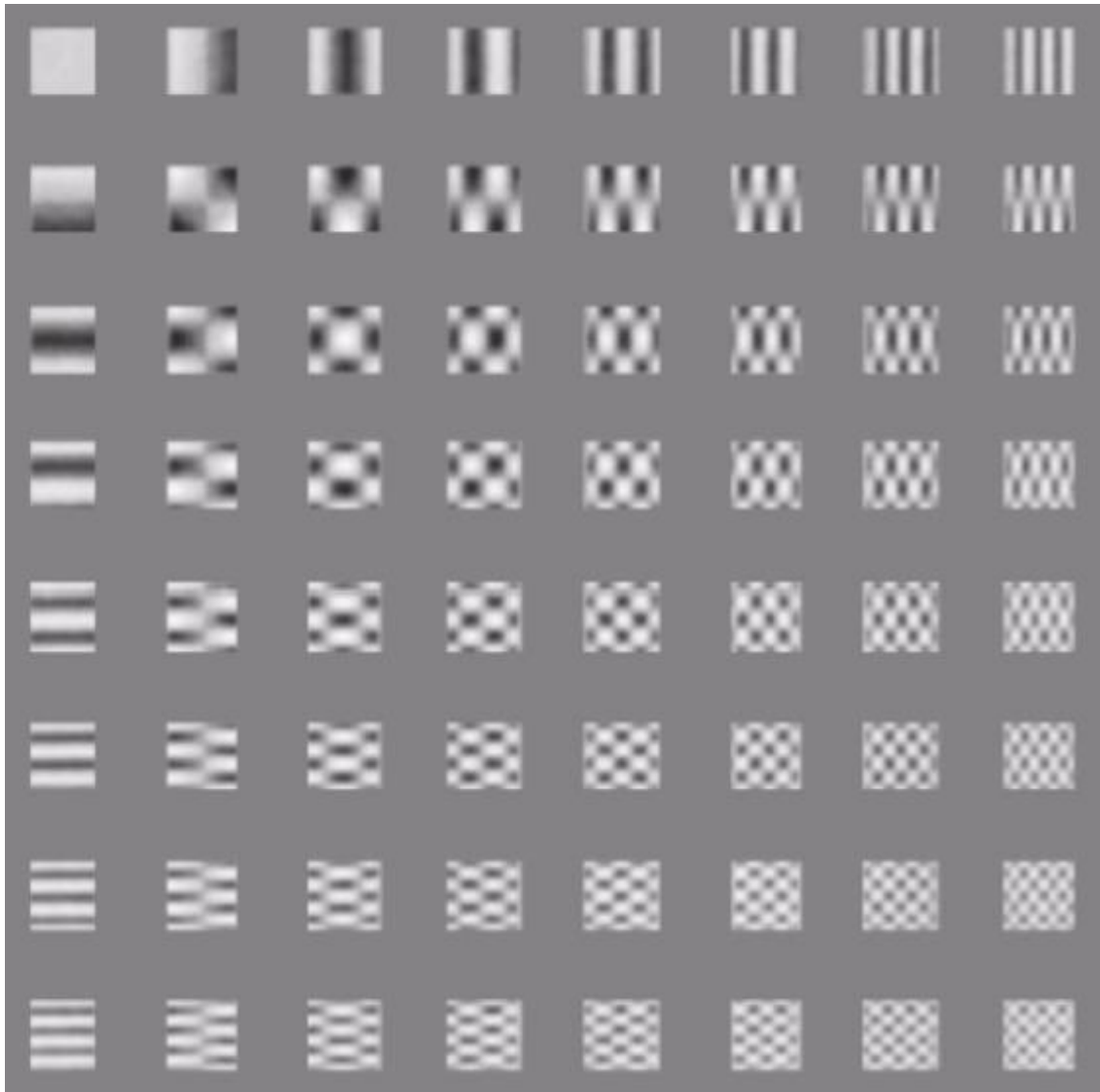
A JPEG kóder blokkvázlata.

A hangtechnikában már megismert DFT és FFT algoritmusok végtelen sok sin és cos tagok összegéből állnak (sorfejtés). A DCT ezzel szemben csak cos tagokat tartalmaz, de kétszer annyit, mint az FFT, és azok az alapprofrekvencia felének egész számú többszörösei. Ennek értelme, hogy nem lesz komplex a spektrum, nincs fázisinformáció, 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 kétdimenziós is. Az alábbi egyenlet mutatja a 2D esetet, amely ránézésre bonyolult, valójában két szummázás van egybeágyazva, így programozástechnikailag (algoritmus) nem nehéz megvalósítani (nagyjából két egymásba ágyazott for-ciklus):

$$C_x(k_1, k_2) = \begin{cases} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} 4[x(n_1, n_2)] \cos\left[\frac{\pi}{2N_1} k_1 (2n_1 + 1)\right] \cos\left[\frac{\pi}{2N_2} k_2 (2n_2 + 1)\right] \\ 0 \end{cases}$$

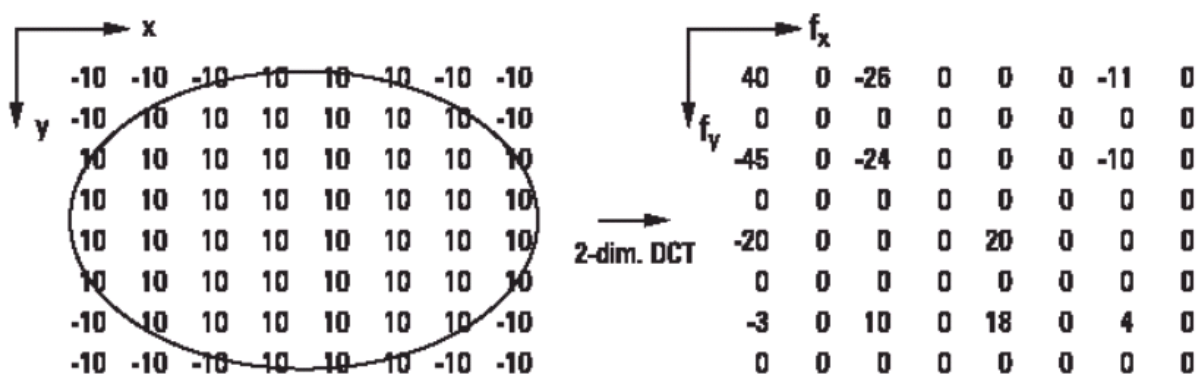
Mint említettük, ennek eredménye 64 darab 11 bites szám lesz, de sok együttható viszonylag kicsi lesz. Különösen a nagyobb frekvenciájú komponensek esetén, hisz normál kép esetén inkább a kisfrekvenciás átmenetek és tartalmak dominálnak. Minél több a nagyfrekvenciás rész, annál inkább „gyanús”, hogy valami mérőjelről, speciális képről van szó. A rajzok, rajzfilmek esetén sok az éles kontúr, ott ez előfordulhat. A legnagyobb frekvenciájú jel mindig az 101010101...stb bitsorozat, azaz a legkisebb és legnagyobb amplitúdóérték lehető leggyosabb váltakozása. Ez magában hordozza az órajelet is, így az ún. órajelbefutók vagy más néven bitszinkron sorozatok így néznek ki. 2D esetben ez megfelel a pixelenként sakktáblának, pld. fekete-fehér esetben fekete-fehér-fe fekete-fehér...stb. pixelsorozatnak. Ez nyilvánvalóan nem értelmes képtartalom, ezért ennek előfordulási valószínűsége csekély. Az ilyen képtartalmat nem lehet jól JPEG-be tömöríteni! Míg egy BMP képet mindig elég hatékonyan lehet és annak jellemzője, hogy a képméret független a képtartalomtól, addig JPEG esetén a képtartalom meghatározza a tömörítés fokát és a fájl méretét.

Az alábbi ábra a DCT alapfüggvényeket mutatja. Bal felső sarokban van az egyenszürke, azaz a DC komponens (egyszínű kép), ennek értéke határozza meg hogy mekkora az alap DC szürkesség szintje a 64 pixelnek. Másképp, ezt a szürkesszintet ki lehetne vonni minden pixelből (hasonlóan ahhoz, ahogy a DC feszültségre ültetett szinuszhangból is ki lehet ezt vonni). Ettől jobbra a frekvencia növekszik, látható hogy a második négyzet egy „féhullám”, a harmadik egy egész stb...ezek 2D szinuszhullámok, mintha egy papírlapot hajlítanánk meg. A sötét részek negatívak, a világosak pozitívak. Ugyanez igaz az első oszlopra, csak a másik dimenzió mellett. Az ábra többi részén a két szélsőnek az összege látható, a jobb alsó sarokban van a 2D-s legnagyobb frekvenciájú (sakktábla) komponens.



2D DCT alapfüggvények.

A 2 dimenziós DCT alapfüggvények hasonlítanak az FFT alapokra, csak két dimenzióban. A bázisfüggvény egyenlő egyetlen együtthatóval megadható blokk-al. A valóságos kép minden 8x8-as blokkja megadható ezen 64 szuperpozíciójával (pont mint a hangnál). 8x8-nál nagyobb blokk nagyobb adatredukciót tesz lehetővé, de a blokkmérettel négyzetesen arányosan nő a számítási igény. Lássunk példákat!



A bal oldali 8x8 pixel egy egyszerű képtartalmat mutat: egy 10-es világosságértékű ellipszis egy -10-es háttér előtt. Az ebből származó DCT együtthatómátrix a jobb oldalon van. A DC szintje a képnek 40, ezenkívül csak néhány alapfüggvénynek van nullától eltérő értéke. Ahhoz hogy ugyanezt a képet megkapjuk, összerakhatunk 40 egységnyi szürke alapot, amelyből kivonunk 26 egységnyi az előző ábrán a felső sor harmadik függvényéből, majd 11 egységet a hetedikből...stb. Ha ezeket az alapfüggvényeket előjelhelyesen, súlyozva összeadjuk, az eredeti képet kapjuk! Vegyük észre, hogy ez elvben ugyanaz, mint a hangtechnikai spektrálanalízis: receptet ad egy hang szintetizálására az öt alkotó szinuszhullámok, mint alapfüggvények súlyozott összegeként („Végy 1 Volt 1 kHz-es jelet, adj hozzá 2,5 V 3 kHz-es jelet stb.”).

Egy másik példában a legrosszabb esetet látjuk, a pixelenkénti sakktáblát 8 biten, alatta ennek transzformáltját. Hasonlítsuk össze ezt az előző példával! Az értékek szabályosan rendeződnek el és nagyok, a jobb alsó sarokban van a legnagyobb. Ennek tömörítése nehéz (illetve lehet de a kép eltorzul, elmosódik és feltehetőleg egy egyenszürke masszát eredményez).

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 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 |

|       |       |   |       |   |      |   |       |
|-------|-------|---|-------|---|------|---|-------|
| 32640 | 0     | 0 | 0     | 0 | 0    | 0 | 0     |
| 0     | 530.2 | 0 | 625.4 | 0 | 936  | 0 | 2665  |
| 0     | 0     | 0 | 0     | 0 | 0    | 0 | 0     |
| 0     | 625.4 | 0 | 737.7 | 0 | 1104 | 0 | 3144  |
| 0     | 0     | 0 | 0     | 0 | 0    | 0 | 0     |
| 0     | 936   | 0 | 1104  | 0 | 1652 | 0 | 4705  |
| 0     | 0     | 0 | 0     | 0 | 0    | 0 | 0     |
| 0     | 2665  | 0 | 3144  | 0 | 4705 | 0 | 13399 |

A sakktábla DCT-je.

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.

Lássuk, hol van a nyereség? Tudjuk, hogy a szemünk a nagyfrekvenciás részekre érzéketlenebb, így a DCT mátrix együtthatói közül a jobboldaliakat és a lentieket nem kell 11 biten kódolni, lehet kevesebbel is. Ezért lesz rossz a hatása ennek sakktáblakép esetén. Ehhez meg kell állapítani a szemünk felbontóképességét. A kísérletben közpszürke háttér előtt kellett úgy beállítani a 63 fenti bázisfüggvényt, hogy éppen ne látszódjon („látásküszöb”). A legkisebb amplitúdókülönbség lett Y-ra nézve a kvantálási lépcső, nagyobb frekvenciához nagyobb a lépcső. Sok emberre és minden alapfüggvényre elvégezve kapunk egy ún. kvantálási táblát (Y-ra) és hasonlóan el lehet végezni krominancia jelekre is.



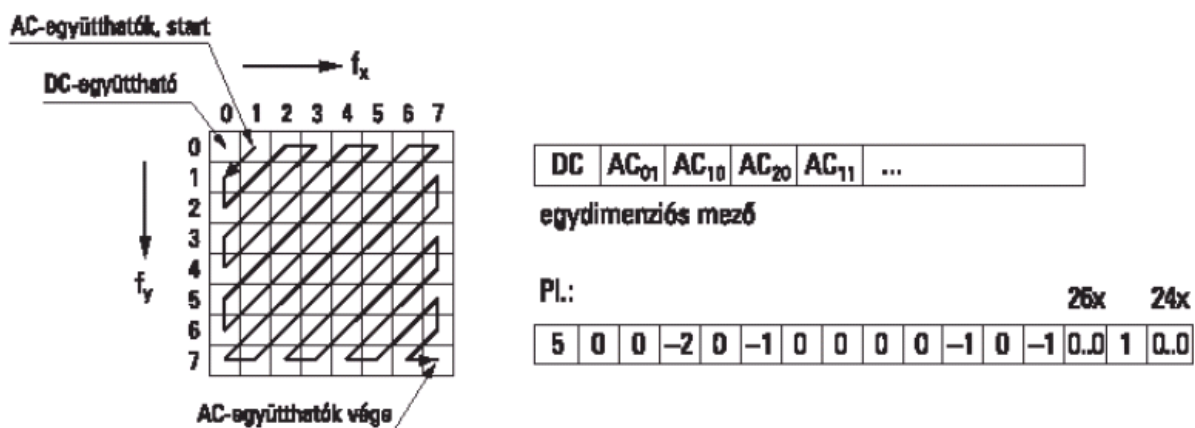
Összesen csak hat érték nem zérus, azok is kevés bittel leírhatók. Átvitel után a visszaalakításhoz megint szükség van a kvantálási táblára, azaz a c-ábrával a d-ábrát a dekóder felszorozza, ez lesz az e-ábra. Mivel a folyamat veszteséges, ezért sajnos az e-ábra nem egyezik meg a b-ábrával, csak közelítőleg. Így az e-ábrából visszatranszformált (IDCT) f-ábra sem fog megegyezni az eredeti, kiindulási a-ábrával (139-es DC szint helyett 144 lett).

A képtömörítés nem csupán adatcsökkentés, hanem az emberi érzékszervek korlátaira (szubjektivitásra) is épít. Ahogy már láttuk, állóképek intra-frame kódolásánál a szomszédos pixelek közötti hasonlóságot használjuk ki:

- „normális” képeknél a szomszédos pixelek közel megegyeznek egymással,
- és az átmenetek is eléggé homályosak, nem pedig élesek („zajszerű élek”). Ezek a lassú változások a frekvencia tartományban kisfrekvenciás komponenseknek felelnek meg. Elhagyva a nagyfrekvenciás összetevők kb. 50 %-át, az inverz transzformáció után az eredeti kódolt információnak legfeljebb 5 %-a veszik el.

Három paramétere van az ilyen kódolónak: a tömörítési arány (a fájl méret), 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 szokásos RGB színrendszer helyett az YUV színrendszert használja a JPEG. Ezáltal a színösszetevők adatai a látás szempontjából fontosabb és kevésbé fontos adatokra válnak szét. Az emberi látás az ún. krominancia összetevőkre sokkal kevésbé érzékeny, mint az ún. luminancia összetevőre. (Emlékeztető: kb. 5x rosszabb a szem felbontása színes képre.)

Már csak egy lépés van hátra: a futamhossz kódolás. Az átvitelre szánt d-képnek fent jó része zérus, még hozzá a nagyfrekvenciás részek. Ezért ha okosan olvassuk ki ezt a mátrixot, el tudjuk érni, hogy a sok nulla egymás után kerül. A kiolvasási sorrend cikk-cakkban történik. Először a DC, majd az első sor második tagja, majd az első oszlop második tagja stb., ahogy az ábra is mutatja. Látható, hogy van olyan rész, ahol 26 darab nulla kerül egymás mellé ebben a példában, de lehetséges, hogy akár 50 darab is, amelyet futamhossz kódolással jól összenyomhatunk (veszteségmentesen).



A cikk-cakk kiolvasás és a sorbarendeztet adatfolyam.

Ne keverjük a futamhossz és a Huffman-kódolást! Futamhossz (Running Length Encoding) kódoláskor a sok azonos bit helyett azok darabszámát visszük át, tehát 1000 darab 1-es bit helyett (ami 1000 bitnek felelne meg), ezt átvihetjük 11 biten: 1 bit, hogy 1 a bit értéke, és az ezres számot pedig 10 bittel leírhatjuk. Minél hosszabb egyforma sorozatok vannak, ez annál

hatékonyabb és ráadásul veszteségmentes eljárás. Ezért történik a cikk-cakk kiolvasás. Huffman-kódolás esetén redundancia csökkentést alkalmazunk statisztikus elven: a gyakrabban előforduló kódszavakhoz kevesebb bitet rendelünk. A két módszer különböző, de együttesen nagyon hatékony.

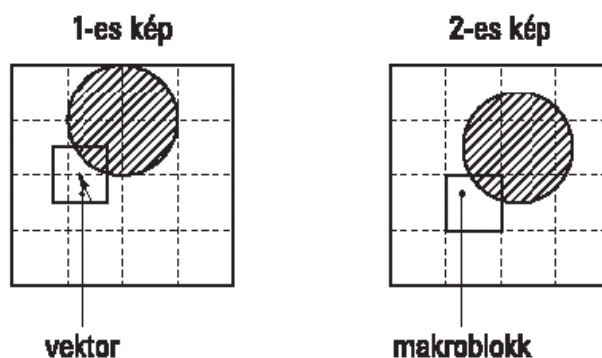
### 4.1.2 Mozgóképek kódolása

A mozgóképek hatékony kódolásához először egyszerűen a JPEG állóképek sorozatát használták fel. Ilyenkor Motion-JPEG (MJPEG) adatfolyamról beszélünk, amelyből kell 25-30 darab másodpercenként. Már ez is sokkal jobb és tömörebb annál, mintha BMP képeket továbbítanánk ugyanígy.

Ez az eljárás azonban nem használja ki azt a tényt, hogy az egymás után következő képek vagy félképek nagyon hasonlítanak egymásra, ugyanis 1/25 másodperc alatt nem változik annyit a képtartalom (kivéve vágásoknál, illetve extrém képtartalomnál, mérőjeleknél). Az MPEG csoport tehát továbbgondolta ezt és az első ötlet az volt, hogy hasonlóan a DPCM elvéhez (amely képen belül, azaz intraframe használta ki a hasonlóságot), de itt nem a sorok és az egymás utáni pixelek, hanem az egymás utáni képek közötti hasonlóságot használjuk ki (interframe): két egymás utáni kép különbségét elég átvinni. Itt is becslést hajtunk végre, amikor megpróbáljuk kitalálni, hogy fog kinézni a következő kép. Legegyszerűbb esetben a kétek differenciáját (pixelenkénti különbségét) visszük csak át, és állítjuk helyre a dekóderben.

Ennél még egy lépessel továbbmentek: mozgásbecsléssel megkísérik ezt a becslést feljavítani, pontosítani. Ez egy olyan számítási eljárás, amelynek során a képet ún. makroblokkokra osztják (ez lehet 4x4 vagy 16x16 pixeles), és ezt a képtartalmat megkeresik a másik képen. Egyezés (ill. a legjobb egyezés) esetén nem a makroblokk pixeleit, hanem csak az egész blokk elmozdulásának irányvektorát kódolják (pld. 3 pixel balra, 2 le). Ez az ún. mozgásvektor, és minden makroblokkhoz tartozik egy ilyen.

Az alábbi kép egy mozgó labdát mutat, ahogy egyik kép és a másik kép között elmozdul.



Ha a két kép közötti egyszerű különbségi kép helyett egy a vektor által becsültet viszünk át, kevesebb adatra lesz szükség. A feladat: a kettes kép vastaggal jelölt blokkját meg kell keresni az egyes képen és megadja ez a vektor az elmozdulást. Ezt minden makroblokkra el kell végezni. A mozgásbecslés: bonyolult, nagy számításigényű, és többféle algoritmust is használhat. A mozgásbecslés végeredménye egy mozgás-vektor halmaz, mely 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 makroblokk esetén több mozgás-adat lesz, de pontosabb vektorok. Ugyanakkor, nagyobb számításigény és kisebb siker nagy mozgások esetén (melyek túlnyúlhatnak a blokkon).

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 számításigényű. 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.

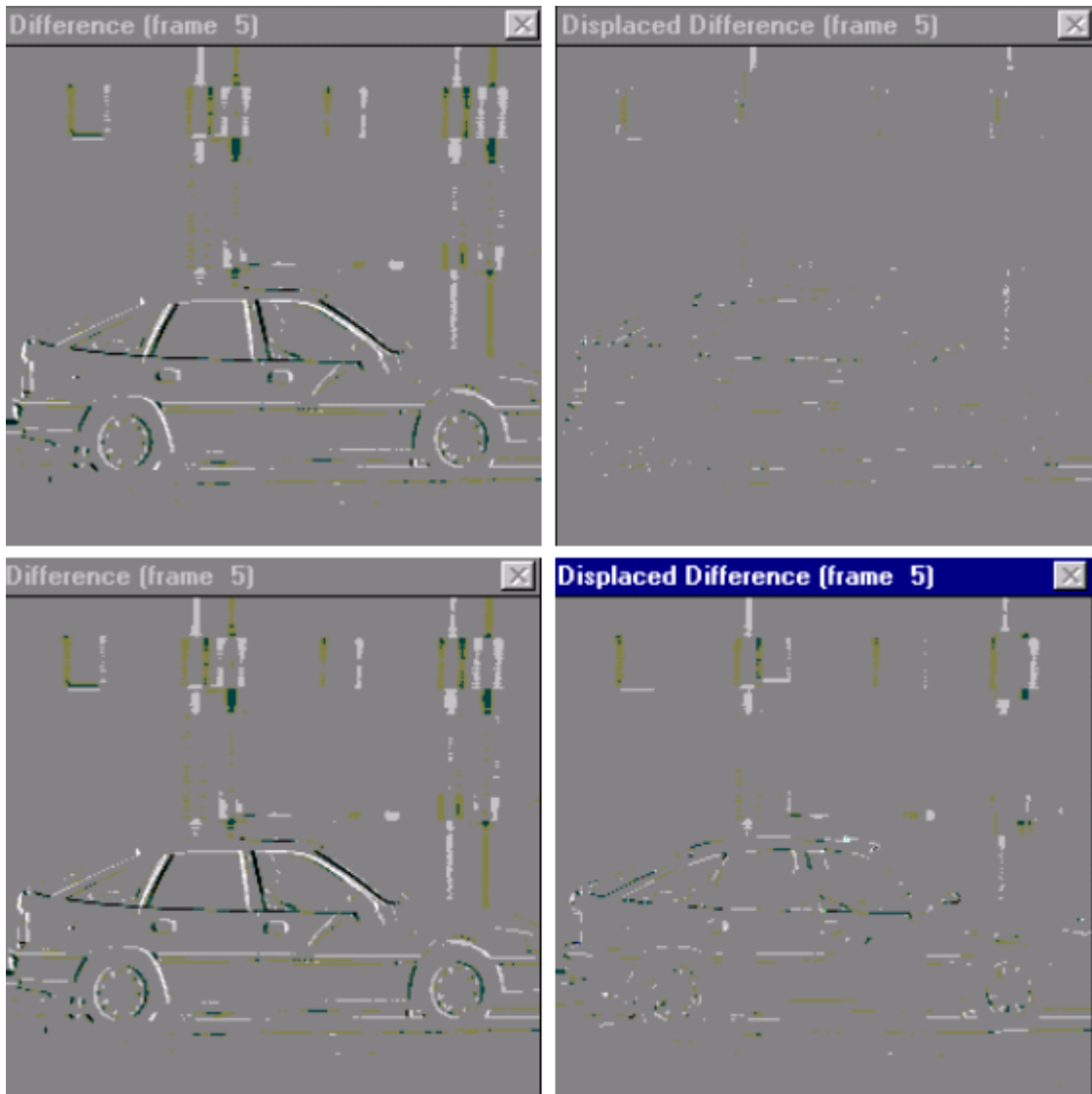


Bal fent: 8. frame kiindulási alap (lehet I vagy P kép)

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

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

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

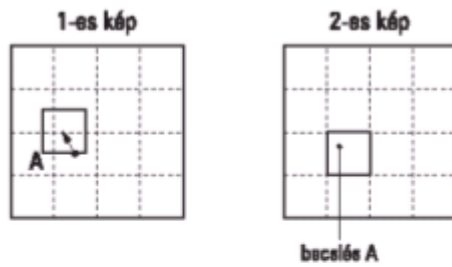


8x8 makroblokk helyett 4x4 (fent), 16x16 lent.

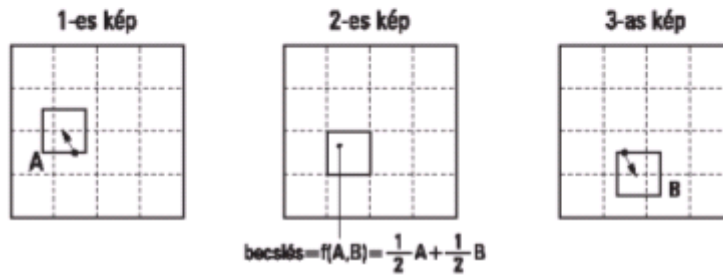
Az önmagukban kódolt, azaz JPEG képeket az MPEG képfolyamban I-képnek nevezzük (intra kép). Ezek mentén lehet a vágást, editálást végezni. Minél több az I-kép, annál jobban szerkeszthető a műsor, de annál nagyobb a tárhelyigény. A csupa I-képből álló film a M-JPEG.

A valóságban a fentiek alapján becsült különbségi képeket is átviszünk, amely lehet egyirányú predikció (P-kép) ill. kétirányú bi-directional (B-kép). Sőt, egy predikció forrása lehet I és P-kép is. A B-képek mérete a legkisebb, az I-képeké a legnagyobb. Minél több B és P-kép van a szekvenciában, annál jobb lesz a tömörítés, de mivel az I-képek távolsága nő, a szerkeszthetőség és a rendszer szinkronizációja rossz lesz. Ha bármilyen oknál fogva szétesik a képfolyam, az újra „felállni” csak a következő I-képnél tud, hiszen a P és B-képek önmagukban nem értelmezhetők.

#### egyirányú becslés



#### kétirányú becslés



P és B-képek.

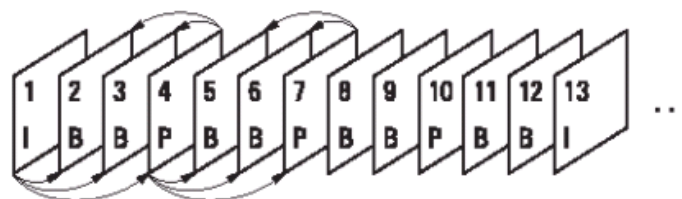
A képek sorozata szabványos, és GOP-struktúrának nevezzük (Group Of Pictures), ez nem más, mint két I-kép távolsága:

EU: BBIBBPBBPBBPBBIBB.... N = 12

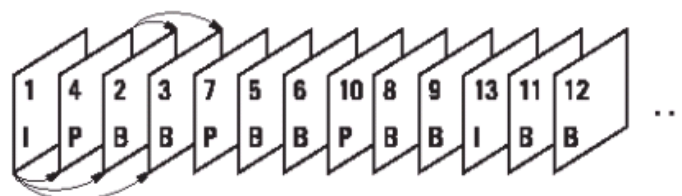
USA: BBIBBPBBPBBPBBPBBIBB... N = 15

Tekintettel arra, hogy a B-képekhez szükség van a „jövőbeni” referenciaképre is, a megjelenítési sorrend eltér az átviteli sorrendtől: egy adott B-kép visszaállításához szükséges referenciaképnek már a vevőben kell lennie, így azt előbb át kell vinni. MPEG-ben a P, B képekhez szükséges DCT táblák rögzítettek.

#### megjelenítési (eredeti) sorrend



#### átviteli (kódolási) sorrend



A GOP-struktúra átvitele és megjelenítési sorrendje.

A stúdiókban használt DVPro és a közszükségleti miniDV a M-JPEG egy változatát használja, csak I-képekből áll, 25 Mbps jut a képre és az MPEG2-nek megfelelő 720\*576 felbontás.

Az MPEG célja tehát a kezdeti nagy bitsebesség lecsökkentése. A kimeneti bitsebesség lehet konstans (CBR) vagy változó (VBR). Analóg forrás esetén a képköltési idők (sorszinkron és félképszinkronok) elhagyásával kb. 25% adatcsökkentést lehet elérni: csak az aktív soridőben van kódolás és 575 aktív sorban (PAL). A dekódolás egyszerű: nem kell mozgásbecslés, mert a vektor jön, olcsó, így egyszerűbb a dekóder.

Az MPEG adatsebességcsökkentés alapja kettős: egyrészt redundanciát csökkentünk, másrészt lényegtelen információkat szűrünk ki. Az első esetben nincs információvesztés, utóbbinál viszont a szemünk és fülünk által nem észlelt, ezért lényegtelen részeket dobjuk ki, amely információvesztéssel jár.

Már láttuk, hogy a 270 Mbps-os folyamatot kell lezorítanunk, amennyire csak lehet. Ehhez az alábbi lépéseket tesszük:

1. a kvantálás csökkentése 10-ről 8 bitre: a stúdióon kívül a 8 bites felbontás is elégséges a szemnek, s bár a kvantálási zaj (x6 dB szabály miatt) 12 dB-el romlik, 20%-os adatredukciót érhetünk el.
2. sorköltés és félképköltés elhagyása:  $625-575=50$  meg nem jelenített sor elhagyásával újabb 8% a nyereség. A 64 usec-os soridőből csak 52 usec aktív, így itt 19% nyereség realizálható, de mivel ezek néha átfedik egymást, összesen 25% eredő nyereség jön létre ezek elhagyásával.
3. függőleges irányban a színelbontás csökkentése 4:2:2-ről 4:2:0-ra. A 4:2:2 a színelbontást csak vízszintes irányban felezte meg, de a szemünk felbontóképessége függőlegesen is ugyanolyan rossz. Újabb 25% nyereség.

Ezzel összesen a 270 Mbps-t 124,5 Mbps-re csökkenthetjük, de ez még mindig nem elég. Ekkor jön be a különbségi moduláció: az egymás utáni képek különbségének átvitel, azok hasonlóságára alapozva. A különbségképzés makroblokk szinten történik (16\*16 pixeles Y és 8\*8 színelkülönbségi jelekre). Mielőtt ezt elvégeznénk, történik a mozgásbecslés: megnézzük hogy elmozdult-e az adott makroblokk vagy sem (ill. eltűnik-e vagy most jelenik-e meg)? Ha nincs elmozdulás és változás, semmit se kell átvinni. Ha a blokk új és nincs kapcsolatban az előző képpel, akkor az egészet át kell vinni. Ha nincs változás csak elmozdulás: elég a mozgásvektort átvinni, ha változás is van, akkor a különbségi képet is át kell vinni. Ezzel alakul ki a végleges adatredukció.

Az elemi részletek hierarchiája az alábbi:

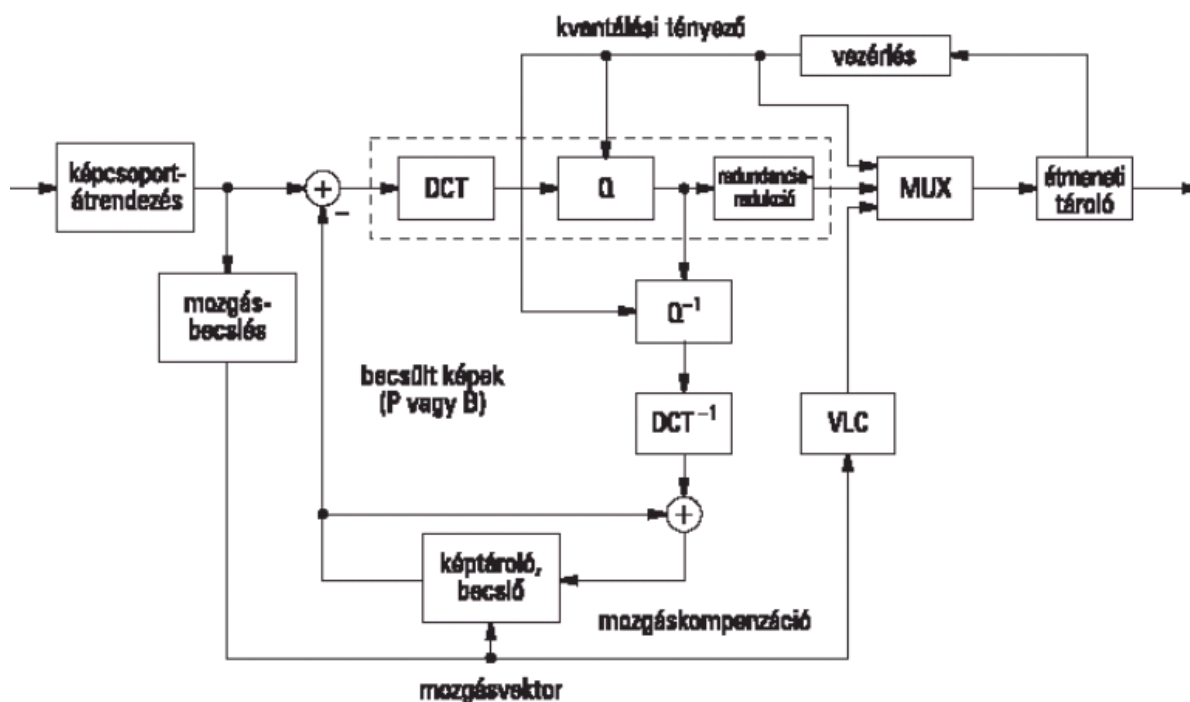
1. pixel
2. blokk
3. makroblokk
4. több makroblokk alkot egy szeletet (ált. egy sor több szeletből áll). Ennek külön fejléce van, a hibajavítás itt kezdődik (szelet-szinten).
5. szeletekből épül fel a kép. A képnek is van külön fejléce (I, B, P lehet).
6. több kép alkot egy GOP-ot, ennek is külön fejléce van, általában 12 képből áll egy GOP (fél másodperc). DVD-n ennél hosszabb GOP is megengedhető, szinkronizáció az I-képnél történik.
7. Több GOP alkot egy szekvenciát, ennek is külön fejléce van (pld. a kvantálási táblák erre értelmezettek).

Ez után már a PES csomagok következnek.

### 4.1.3 MPEG 1

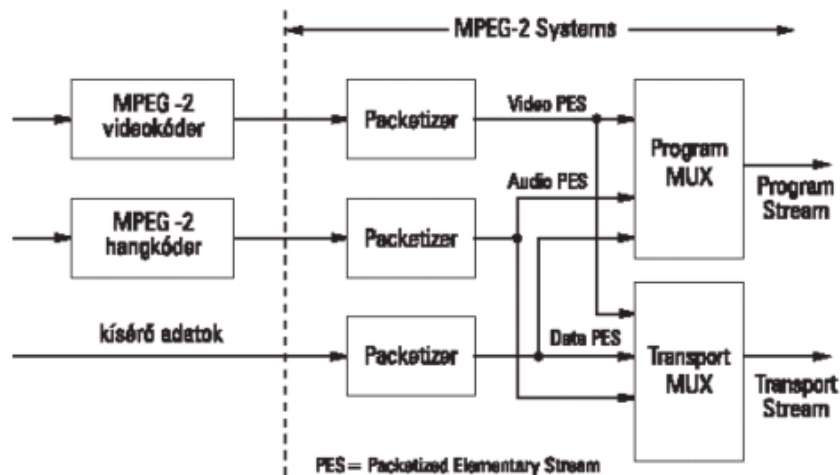
Az MPEG fejlődésének legelső és legegyszerűbb része az MPEG-1 (1993). Az MPEG-1 elsősorban hordozóra és nem műsorszórásra lett kitalálva, tulajdonképpen a VCD (Video CD) formátumra kell gondolni. A szabványnak van audio része (lásd korábban a 3.1 fejezetet), van rendszer (system) része és van video.

A VCD nagyjából egy jobb VHS minőségnek felel meg, 1.5 Mbps teljes sebesség és 352\*288 felbontás mellett kb. 60-70 perc rögzíthető egy CD lemezre. Maximálisan sztereó hang és CBR adatfolyammal számolhatunk.



Az MPEG-1 kóder blokkvázlata. A szaggatott rész egy JPEG kóder.

Az MPEG adatfolyam tömörített videó ill. hangsávját elemi adatfolyamnak (elementary stream)-nek nevezzük, ezek multiplexálhatók egy fájlba. A tipikus kiterjesztések: m1v ill. m1a vagy mpa. Multiplexálás után áll elő az mpg vagy mpeg kiterjesztésű fájl, de ehhez a későbbiekben járulhat még hibajavítás, egyéb adat stb. MPEG-2 esetén ezek rendre m2v ill. m2a. A tömörítés után ezeket a folyamatokat változó hosszúságú csomagokra kell felosztani, ez a PES (packetized elementary stream). Ezek általában max. 64 kbyte hosszúak, kis fejléccel (6 byte), de a szerkezete viszonylag bonyolult. Átvitelre önmagában nem alkalmas még, pláne ha több programot is szeretnénk egy nagy adatfolyamban továbbítani. Ezért a hosszú, változó PES csomagokat kisebb, állandó hosszúságúakra kell szabdalni. Ezek mérete  $184 \text{ byte} + 4 \text{ byte fejléc} = 188 \text{ byte}$ . Egy programhoz ezután történik meg a nyalábolás (ez lehet több kép, több hangsáv is és adat), ez a program stream (PS). Több programot összefogva kapjuk a még nagyobb adatsebességű transport stream-et (TS), ez MPEG-2-nél van csak. Statisztikus multiplexálás esetén az adott teljes sáv szélességből az egyes programok dinamikusan foglalnak le maguknak: egy Forma 1 program többet, míg egy hírműsor kevesebbet – ezzel adott sáv szélesség mellett jobb minőség érhető el. MPEG-1 esetén ez csak egy kép és egy hangból állhat.



MPEG-2 kóder és csomagoló (packetizer).

A program-multiplex (PS) mindegyik adatfolyama azonos időalapú, hiszen egy program képe és hangja, alkalmas csaknem zavarmentes csatornán való átvitelhez, lehetséges a változó hosszúságú csomag. TS esetén több program, eltérő időállandóval szerepel, zavart(abb) csatornán is alkalmas az átvitelre, de 188 byte-os adatcsomagokat használ. A DVB mindegyike ezt használja.

Az MPEG-1 része a már említett mp3 is, amely nem egyezik meg az MPEG-3-al. Ahhoz, hogy műsorszórásra is használhassuk, jobb és nagyobb képminőség mellett akár sokcsatornás hanggal párosítva, kiegészítő szolgáltatásokat kellett beépíteni, és megszületett az MPEG-2.

#### 4.1.4 MPEG 2

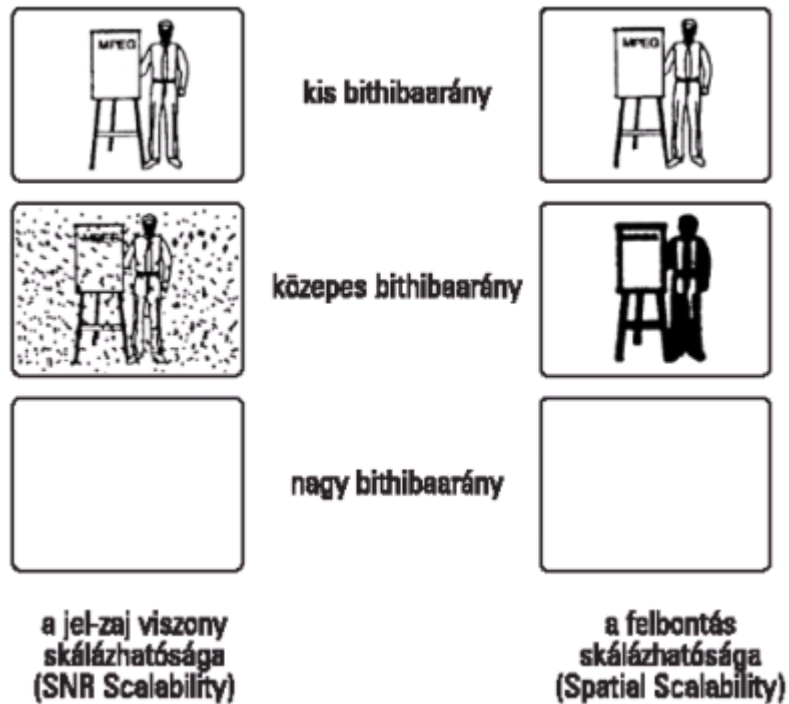
MPEG-2 esetén kb. 2-6 Mbps képsebességgel és néhány száz kbps hangsáv sebességgel dolgozunk, a VBR mód megengedett. DVD esetén a teljes adatsebesség (kép, hangok, feliratok stb.) 9 Mbps körüli, műsorszórásban ennél valamivel alacsonyabb, így a szokványos 8 MHz-es csatornában akár több tévéadó is átvihető. DVB-S esetén a 33 MHz-es csatornában 38 Mbps is elérhető (6-10 TV, 20 rádió). Koaxiális DVB-C esetén, mivel ott QPSK helyett 64QAM van, a 38 Mbps a 8 MHz-es csatornában is biztosítható.

Mivel az MPEG adatfolyam rendkívül rugalmas, szükséges beleírni, hogy mit is tartalmaz, ezeket ún. információs táblák hordozzák. Ilyen táblák pld. a

- Program Association Table
  - o Packet Identifier
- Program Map Table
  - o EPG
- Conditional Access Table
- Network Information Table
- Privát táblák

Amennyiben az MPEG2 folyam DVB adásba kerül, nyolc újabb tábla kerül az adatfolyamba. A digitális adatátvitel egyik sajátossága az ún. cliff-effektus, vagy más néven letörési jelenség (cliff = sziklaperem angolul). Amíg a rendszerben jó a jel/zaj viszony, a bithiba-arány nem esik a kritikus érték alá és a hibajavítás megbirkózik vele, a minőség tökéletes. Ezt átlépve azonban szempillantás alatt összeomlik, nincs olyan megszokott folytonos minőségromlás,

amit analóg esetben megszoktunk. Ezt kiküszöbölendő lehetőség van MPEG-2-ben a skálázhatóságra, azaz eltérő képminőségi fokozatok beállítására a különböző bitsebességek mellett. Pld. definiálhatunk egy 2 Mbps-os „magot” kisebb felbontással és erre ráépülve egy 4 Mbps-os kiterjesztést jobb felbontással. Így ha a bithiba-arány elromlik, nem szűnik meg a kép, csak leromlik. A skálázást lehet jel/zaj viszonyra végezni ill. felbontásra, ahogy az ábra is szemlélteti.



Skálázhatóság MPEG-2-ben.

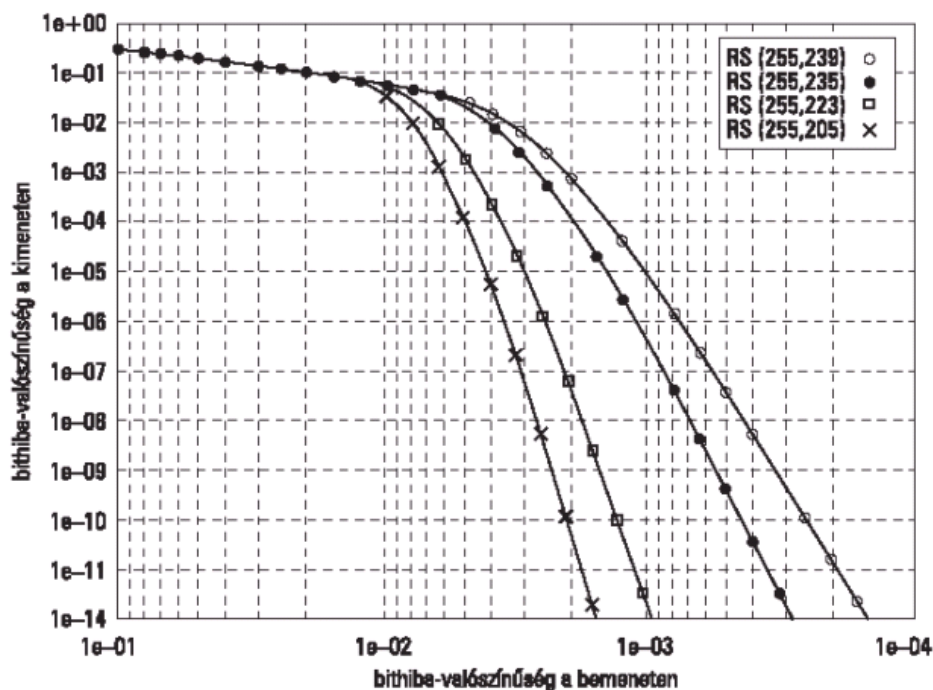
HDTV esetén a skálázás úgy is megoldható, hogy az „alap” az SDTV minőség (felbontás), a kiegészítés pedig HDTV felbontásra javítja fel, így rossz vétel esetén a HDTV „leesik” SDTV minőségre.

Mivel az MPEG-2 nagyon széles paraméterek között állítható, definiáltak ún. profil és level osztályokat, az alábbi táblázat szerint. Az alap a „main profil és a main level” (MP@ML), amely tulajdonképpen egy DVD minőségnek felel meg.

|                    |                                  |                              |                                       |                                                        |                                                         |
|--------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| High Level         |                                  | 1920x1152 Pixel<br>80 Mbit/s |                                       |                                                        | 1920x1152 Pixel<br>(960x576) Pixel<br>100(80,25) Mbit/s |
| High- 1440 Level   |                                  | 1440x1152 Pixel<br>60 Mbit/s |                                       | 1440x1152 Pixel<br>(720x576) Pixel<br>60(40,15) Mbit/s | 1440x1152 Pixel<br>(720x576) Pixel<br>80(60,20) Mbit/s  |
| Main Level         | 720x576 Pixel<br>15 Mbit/s       | 720x576 Pixel<br>15 Mbit/s   | 720x576 Pixel<br>15(10) Mbit/s        |                                                        | 720x576 Pixel<br>(720x576) Pixel<br>20(15,4) Mbit/s     |
| Low Level          |                                  | 352x288 Pixel<br>4 Mbit/s    | 352x288 Pixel<br>4(3) Mbit/s          |                                                        |                                                         |
| Levels<br>Profiles | Simple Level                     | Main Profile                 | SNR Scalable Profile                  | Spatial Scalable Profile                               | High Profile                                            |
|                    | mint a Main Prof. B-képek nélkül | 4:2:0, nincs skálázhatóság   | mint a Main Prof. + SNR-skálázhatóság | mint a SNR Scal. Prof. + Spat. Scal.                   | mint a Spat. Scal. Prof. + 4:2:2 - kódolás              |

Profil és Level táblázat MPEG-2-höz.

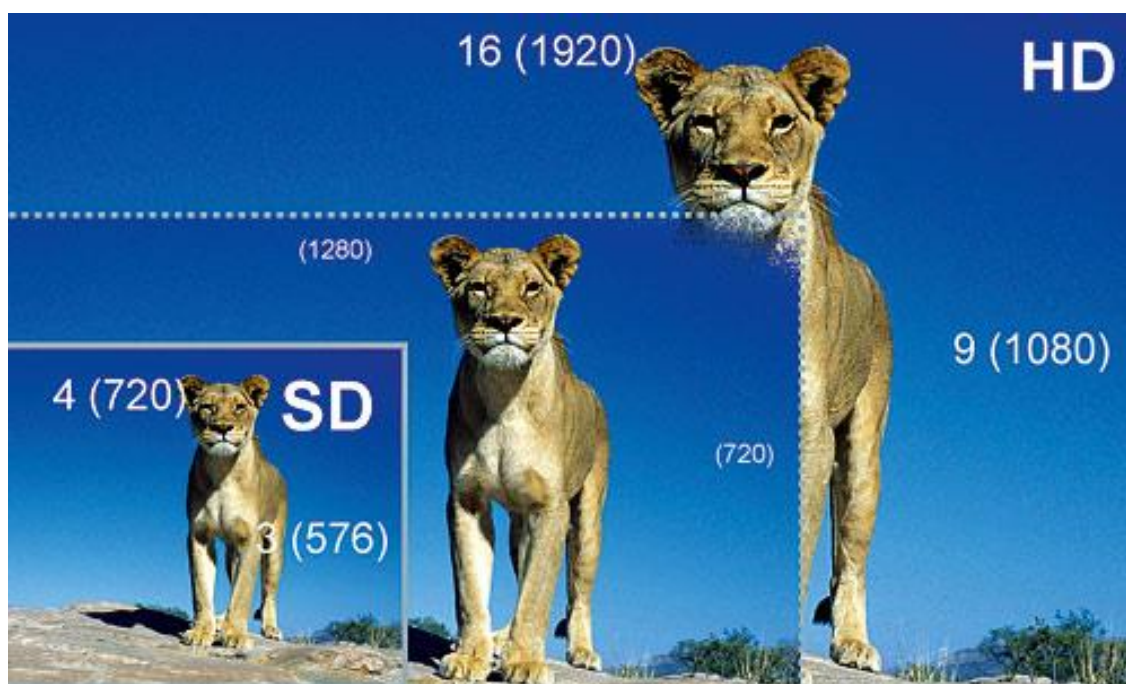
A digitális átvitelnek a hibajavítás mindig része. Kép- és hangtechnikában a nagyon hatékony Reed-Solomon kódokat használjuk. Az RS (255,235) kód jelentése: minden 235 hasznos byte-hoz 20 járulékos hibajavító tartozik, így a bruttó adatsomag 255 byte-ra duzzad. Természetesen, minél több a hibajavító byte (a redundancia), annál hatékonyabb lesz a rendszer, de annál több nem hasznos adatot kell átvinnünk. Látható, hogy a (255,205) hibajavító képessége a legjobb (az ábrán): ugyanakkora kimeneti bithiba-valószínűséget már rosszabb bementi bithiba-valószínűség mellett létre tud hozni. A hibajavítás tehát előreirányú, FEC (Forward Error Correction).



Bithibavalószínűségek különböző Reed-Solomon kódok esetén.

Az MPEG2 már alkalmas a HDTV jelek kódolására. Ez ötször részletgazdagabb, mint a PAL

- PAL: 575i: 2x288 sor, 720 pixel/sor = 414720 pixel/kép.
- HDTV: 1080i: 2x540 sor, 1920 pixel = 2M pixel/kép, 16:9 képméret. Lehet progresszív is (projektor!) 720p, villogásmentes, szép kép.
- Dolby Digital 5.1 hang lehet
- Műholdról 2004-től vehető HDTV adás, megfelelő set-top-box-al, mert sokkal több adat van a jelben, mint a digitális tévében. Kábelén és földi digitális adásban is jöhet, de általában fizetős (kártyás) adások.
- HDTV készülék kell hozzá, megfelelő bemenettel és megjelenítővel, egyébként csak PAL kompozit lebutított jelet nézhetünk hagyományos tévén.
- YUV-színkülönbségi jelet kell átvinni a nagy felbontású képhez (plazmatévé vagy projektor), vagy DVI kimeneten monitoron is élvezhető (kicsiben).
- Hagományos tévéhez felesleges HD és a blu-ray
- Az átlag HD ready tévé csak fogadni, feldolgozni képes a HDTV jelét (feltehetőleg a HDMI csatlakozón át), de megjeleníteni nem. Átlagos felbontások: 852\*480, 800\*600. Néhány készülék tudja a 1366\*768-t, ez a minimum levárható felbontás, amely készüléket érdemes megvenni. Ez már meg tudja jeleníteni a HDTV-t, de a blu-ray-hez még kevés. Keressük a „full HD” feliratú, blu-ray kompatibilis készülékeket, amelyek megbírkóznak az 1080p felbontással is.



Felbontások és képméretetek. A 720\*576 PAL SD-hez képest a HDTV 1280\*720-as felbontása lényeges előrelépés, ráadásul 16:9 arányban. A fullHD a műsorszórásban nincs meg, blu-ray ill. MKV formátumokban találkozhatunk vele.

#### 4.1.5 MPEG 4

MPEG-3 nem létezik, mert ezt a HDTV számára akarták bevezetni, de rájöttek, hogy az ehhez szükséges újítások belevehetők az MPEG-2-be.

Az MPEG-4 interaktív elemeket is tartalmazó multimédiaplatform (konténer). Egy mp4 kiterjesztésű fájlban lehet kép, csak hang vagy mindkettő. Objektumorientált felépítése a C++ nyelvre hasonlít. Az objektumok lehetnek:

- adott színű háttér
- mozgókép
- szintetikus tartalom (emberalak pld.)
- vezérlőgombok
- hangsávok
- kísérszöveg.
- FLASH, HTML, VRML nyelvek használhatók

Az MPEG 1 és 2 „keretalapú”, azaz egy kép pontossággal manipulálható, ami természetes kamera ill. mikrofon jelére megfelelő, de „szintetikus” (2D és 3D grafika) multimédiatartalomra nem optimális. Továbbá nem interaktív.

Az objektumok önmagukban leírhatók és manipulálhatók, nem pixelalapú! Jobban is tömöríthető így (pld. textúrakódolás). A végeredmény egy „multimédiás jelenet”. Ezek hierarchikusan felépülő objektumprimitívekből állnak (pld. egy állókép, egy hangsáv, egy grafikus labda). Van tartalom-alapú skálázhatóság: pld. kisebb bitsebességnél nincs árnyékolás, nincs 3D grafika stb. A szerzői jogok, tartalomvédelem, tartalom-keresés (akár objektumszintig) hozzárendelhetők. Aszerző lehetővé teheti az objektumok manipulálást, ráklikkelhet, törölhet stb. Ez lehet visszirányú csatornán vagy helyben a dekóderben is kiszámításra kerülhet. Nincs TS.

Finomítottak a kép- és hangkódoláson is, a legnagyobb újdonság a szintetikus képelemek használata, amelyek külön PES-folyamba illeszthetők, sőt, MPEG4 folyam IP-alapon is továbbítható. Eredetileg nagy tömörítésű multimédiás alkalmazásokhoz tervezték, mobil eszközökhöz, de a jó hatásfoka és minősége (kb. kétszer olyan tömör, mint az MPEG2) a nagyfelbontású műsorszórás (DVB-T, HDTV) is átvette. A Blu-Ray lemezek és az ismert .MKV (Matroska Video) konténer is ezt a tömörítést alkalmazza.

#### 4.1.6 Összefoglalás

Összefoglalva a legfontosabbakat:

- MPEG1: progresszív képhez, VCD minőség és formátum mellett, interneten továbbítható vagy CD-re írható, alacsony képméret és CBR bitsebesség, max. sztereó hang. Az ajánlott felbontás elnevezése SIF (Source Input Format), a világosságjelre 288 vagy 240 sort és soronként 352 mintát használ, a szinkronizációs jelekre ennek a felét (1.5 Mbps). A páros félképek elhagyásával progresszívvá válik.
- MPEG2: váltottsorosra is jó, nagyobb képméret és VBR sebesség, 5.1 hang is, level & profile szintű skálázhatóság, műsorszórásra és DVD-hez. Csak kép- vagy félkép-szintű manipuláció. Az MPEG1 és 2 is „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. *Objektumorientált, interaktív*, kétszer hatékonyabb az MPEG2-nél. Kép, hang, metaadat = teljes multimédiatartalom (multimédia konténer). Képen belüli objektum-hozzáférés: az MPEG4 „objektumalapú”.

## 4.2 Digitális televíziózás

Már láttuk, hogy alapesetben RGB és Y jelre 13,5 MHz az „alap” mintavételi frekvencia, 8-10 bites felbontás mellett. Ne feledjük, hogy ha RGB átvitelrel dolgozunk azok mindegyikében van Y információ, tehát a sávszélességük egyenként ugyanakkora, mint az Y-nak! Nyereséget itt úgy érhetünk el, ha áttérünk az RGB-ről az analóg TV által használt Y és B-Y, R-Y jelekre, mert ekkor utóbbi kettő, a színkülönbségi jelek már nem tartalmaznak világosság információt, így azok már mintavételezhetők 6,75 MHz-el. Ez utóbbi leírás ismert még YUV ill. Y,Cr,Cb elnevezéssel is, ezek nem pontosan ugyanazt jelentik, de lényegében igen. E három jelet nevezik még *alapsávi komponens* jeleknek is, átvitelük viszonylag jó minőségűnek számít, hiszen nincs benne semmiféle moduláció vagy összetétel, cserébe három kábelre lesz szükség (bizonyos DVD lejátszók, projektorok, stb. képesek így kiadni ill. fogadni a jeleket, ez jobb minőséget ad). *Alapsávi kompozit* jelről akkor beszélünk, amikor a három jel egy kábelben van összefogva, ez általában alapsávi Y és színsegédvörös IQ-modulációt feltételez a színkülönbségi jelekre.

Amennyiben mintavételezés történik a YUV rendszerben, az AD átalakító kimentét megfelelő sorrendbe kell rendezni. Ennek alapja az alábbi sorrend: Y, Cr, Y, Cb, Y, Cr, Y, Cb...stb. tehát pontosan kétszer annyi Y minta lesz mint ahány Cb vagy Cr. Ez a 4:2:2 struktúra. Értelemszerűen, ha a mintavétel mindhárom jelre (pld. RGB átvitel esetén) 13,5 MHz-el történik, akkor 4:4:4-ről beszélünk. Ezeket a jeleket lehet 25-tűs DSUB kábelben párhuzamosan átvinni, vagy 75 ohmos koaxon sorosan is. 625 és 525 soros rendszerben is csak az aktív soridőben van mintavételezés (720 mintavétel történik), a digitális jelben sorszinkron nincs. 16:9 képhez 18 MHz mintavétel javasolt.

| Jelek                          | Mintavételi fr.<br>[MHz] | minta/sor | Sorszám | V<br>[Mbit/s] | Vössz.<br>[Mbit/s] | Formátum       |
|--------------------------------|--------------------------|-----------|---------|---------------|--------------------|----------------|
| R                              | 13,5                     | 864       | 625     | 108           |                    | 4:4:4          |
| G                              | 13,5                     | 864       | 625     | 108           |                    | ITU 601        |
| B                              | 13,5                     | 864       | 625     | 108           | 324                |                |
|                                |                          |           |         |               |                    |                |
| Y                              | 13,5                     | 864       | 625     | 108           |                    | 4:2:2          |
| C <sub>B</sub>                 | 6,75                     | 432       | 625     | 54            |                    | ITU 601        |
| C <sub>R</sub>                 | 6,75                     | 432       | 625     | 54            | 216                |                |
|                                |                          |           |         |               |                    |                |
| Y                              | 13,5                     | 720       | 576     | 83            |                    | 4:2:2          |
| C <sub>B</sub>                 | 6,75                     | 360       | 576     | 41,5          |                    | csak az        |
| C <sub>R</sub>                 | 6,75                     | 360       | 576     | 41,5          | 166                | aktív kép      |
|                                |                          |           |         |               |                    |                |
| Y                              | 13,5                     | 720       | 576     | 83            |                    | 4:2:0          |
| C <sub>B</sub> /C <sub>R</sub> | 6,75                     | 360       | 576     | 41,5          | 124,5              | csak aktív kép |
|                                |                          |           |         |               |                    |                |
| Y                              | 6,75                     | 360       | 288     | 20,7          |                    | 4:2:0, SIF     |
| C <sub>B</sub> /C <sub>R</sub> | 3,375                    | 180       | 288     | 10,4          | 31,1               | csak aktív kép |

Összefoglaló táblázat a formátumokról és bitsebességekről

A stúdióban a fentiekén túl egyéb minőségi fokozatok is vannak, amelyekkel találkozhatunk. Ezek az alábbiak:

- Full D1: analóg videójel digitalizálása + DCT + bináris tömörítés (legjobb minőség, ez az alap). 704\*576 pixel
- Half D1: a képen minden második oszlop marad meg, 352\*576 pixel. Kb. Betacam minőség.
- SIF: minden második sor és oszlop is kikerül: 352\*288, egyszerűbb DCT (S-VHS minőség).
- QSIF: minden negyedik sor és oszlop marad csak meg (1/16 képméret).

Az alábbi táblázat összefoglalva mutatja ezeket.

| Forrás                         | Kompresszió                   | Háttérkap. igény<br>Tipikus adatforg                   | Minőség                                                                                                                                       |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CCIR 601 formátum<br>(720*576) | Full D1 (MPEG-2)<br>(704*576) | 3,5 Gbyte óránként (8 Mbits/sec)<br>6-10 Mbits/sec     | • Tökéletes képminőség                                                                                                                        |
| CCIR 601 formátum<br>(720*576) | Half D1 (MPEG-2)<br>(352*576) | 1,3 Gbyte óránként (3 Mbits/sec)<br>3-6 Mbits/sec      | • Nagyon jó képminőség                                                                                                                        |
| CCIR 601 formátum<br>(720*576) | SIF (MPEG-1)<br>(352*288)     | 675 Mbyte óránként<br>(1.5 Mbits/sec)<br>1-3 Mbits/sec | • Jó képminőség, bár<br>• lépcső-hatás lehetséges<br>ferde vonalak mentén<br>• a szöveg kicsit életlen lehet<br>• a szélek kissé elmosódottak |
| CCIR 601 formátum<br>(720*576) | QSIF (MPEG-1)<br>(176*144)    | 167 Mbyte óránként<br>15 Kbits/sec – 5 Mbits/s         | • Jó képminőség egy<br>VGA monitor 1/4 felületén                                                                                              |

Összefoglaló táblázat a formátumokról és bitsebességekről

A legfontosabb digitális televízió rendszerek az alábbiak:

- Digital Video Broadcasting (DVB)
- Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)
- Digital Multimedia Broadcasting (DMB)
- Digital Terrestrial Television (DTTV or DTT) fix antennás vételhez:
  - DVB-T (OFDM)
  - ISDB-T (OFDM)
  - ATSC (8VSB)
  - T-DMB
- Mobil TV vétel kézi készüléken:
  - DVB-H (OFDM)
  - MediaFLO (OFDM)
  - DMB (OFDM)
  - Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) GSM Edge és UMTS hálózaton
  - DVB-SH (OFDM)
- Szatellit TV:
  - DVB-S és S2
  - ISDB-S
  - 4DTV
  - S-DMB
  - MobaHo!

## 4.2.1 Teletext

Az analóg tévé digitális része a teletext átvitel. Egyirányú csatorna. A félképköltési időbe vannak beültetve az üres sorokba (7-23. sor PAL). Az átvitel lehet aszinkron vagy szinkron. A szinkron olcsóbb és könnyen dekódolható, így ezt használják, de nem annyira flexibilis.

A dekódolt oldal a kép helyén vagy rajta jelenik meg. Bináris átvitel, sebessége 6,9375 Mbit/s. Ez  $444 \times 15625$ , így könnyen alkalmazható minden 625 soros 50 félképes, legalább 5 MHz sávszélességű rendszerben. Minden sorban van bit és byte szinkron, címzés és 40 karakternek megfelelő kód. Egy oldal 24 sor, 40 betűvel (beleértve a lapfejléct is). A lapfejléc sorának első 8 karaktere címzés (szabályozza az oldalt) az utolsó 8 pedig az óra.

A kódok 8 bites Hamming-kódoltak, mely 1 hibát javít, kettőt észlel. A karakterek 7 bitesek + 1 páratlanra kerekítő paritás. Félképenként 2 adatsor esetén egy 24 soros oldal átvitele =  $12 \times 20 = 240$  ms, azaz 4 oldal/mp az átviteli sebesség, 100 oldalas magazin 24 sec. Összesen 8 darab 100 oldalas magazin lehet. Időkóddal minden oldal 3200 változatban (aloldallal) szerepelhet, amiket a tévé „automatikusan lapoz”. Vezérlő karakterek szerepe:

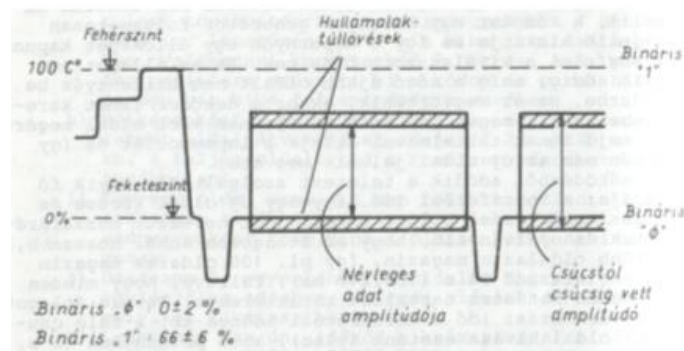
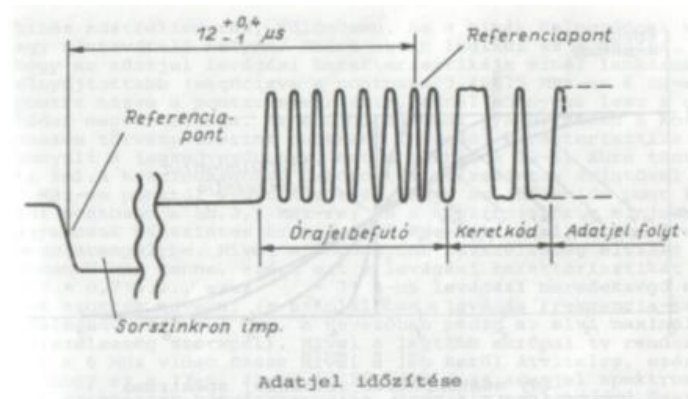
- Hét betűszín,
- nyolc háttérszín,
- kétszeres függőleges betűméretezés,
- láthatatlan/felfedés karakterek használata.

A vevőben a távkapcsolóval lehet az oldalt megadni (zöld, piros, sárga, kék gombok is vannak). Az írás az aktív soridőben történik (nem ütközik a memória olvasásával), egy karaktergenerátor videójellé alakítja a kódokat. A hozzáférési idő annál hosszabb, minél több oldalas a magazin. Egy 100 oldalas magazin max. ciklusideje  $100 \times 240$  ms = 24 sec. Az átlagos idő ennek kb. a fele. Megoldás: pergőoldalak (aloldalak) ill. hogy fontos oldalakat (index, magazinfejléc) nem csak a sorrendben, hanem annál gyakrabban is átviszünk.

A kódolás kétértékű (bináris) NRZ kódolás:

- A bináris nulla = a névleges feketeszint  $0 \pm 2\%$ ,
- a bináris egy = a névleges fehér  $66 \pm 6\%$

de a túllövések miatt a csúcstól-csúcsig (pp) vett érték ennél nagyobb is lehet. Az adatjel 8 egyes és 8 nulla váltással indul (szinkron, órajel befutó). Helye: 12  $\mu$ s a sorszinkron homlokának 50% pontja és az utolsó előtti egyes között. (Az első bináris egyes esetleg torzulhat) Cél: nem az alakhű átvitel, hanem a dekódolhatóság! Kisebb sávszélesség elég, mert nem kell tökéletes négyszögjel impulzusokat átvinni. Hibamentes (ISI) mentes átvitelhez jelformálásra van szükség, ún. emelt-koszinuszos lekerekítésen esik át a digitális jel.



TXT jel időzítése és jelszintjei analóg TV-nél.

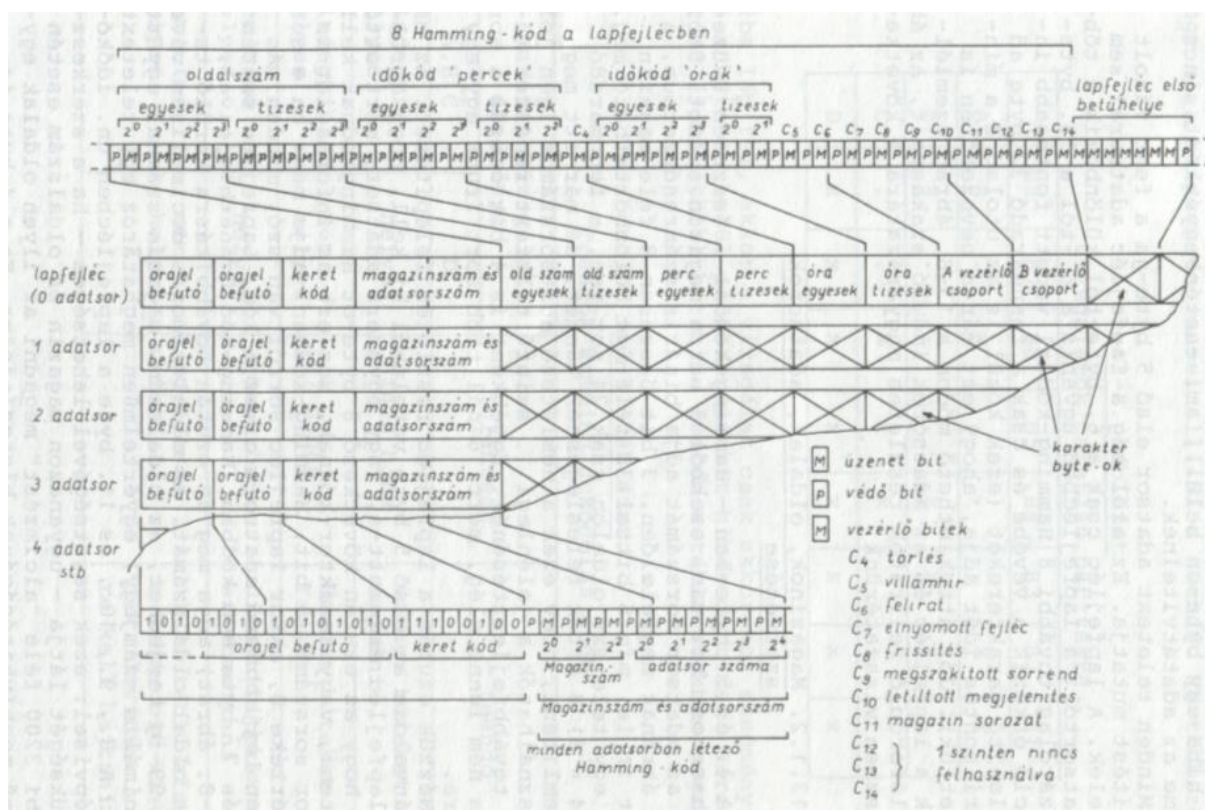
A 4. és 5. byte fele hasznos csak = 3 bit magazinszám, 5 bit adatsor sorszáma.

- 8 féle magazin (3 bit) és
- 32 féle sor lehet (5 bit).
- Egy TXT oldal 24 sor + 8 felesleges (későbbi felhasználásra).

A lapfejléc: az első 5 byte-ból kiderül, lapfejléc vagy normál sor jött-e (mert az ez utáni 8 byte akkor Hamming-kód vagy karakterkód). Ezt az 5 bites adatsorsorszáma adja meg (0 = lapfejléc). Lapfejléc esetén a

- 6. és 7. byte Hamming kódolt bitekkel adja meg az oldalszámot.
- 8-11 byte: idő kód az aloldalnak (ha van), Hamming kódoltak.

Ha a továbbítási sorrend nem folytonos, akkor minden oldalhoz kell új lapfejléc, mert a lapfejléc utáni sorok az adott oldalhoz tartoznak. Egy oldalon belül az adatsorokat nem kell sorrendben továbbítani, és lehetőség van adott oldalnál csak az új sorokat átvinni (felülírni).



Egy TXT oldal felépítése.

A vezérlő kódok az alábbiak:

- C4-C14: egész oldalra érvényes vezérlést engedélyez, ha 1-es a bit és tilt, ha 0.
- C4: lapptörölés (a memória maradékokat kitörli)
- C5: villámhír (az analóg képre írja ki az infót)
- C6: felirat jelző (analóg képre a film feliratozható, ha a néző akarja)
- C7: lapfejléc elnyomható
- C8: frissítés (adott oldal csupán frissített sorának átviteléhez)
- C9: megszakított (nem normális) sorrendű oldalak átviteléhez
- C10: oldal megjelenítésének letiltása
- C11: magazin sorozat (valamennyi létező magazin pergő fejléce láthatóvá tehető)
- C12-14: nem használt

Minden betű: 7 bit + 1 ptl paritás = 128 karakter. Ebből 96 megjeleníthető + 27 vezérlő (szín, méret). Magyarországon amíg nem volt karakterkészlet a svédet használtuk. A vezérlő karakter a tőle jobbra lévő betűre hat a sor végéig vagy a következő vezérlőig. Ahova vezérlő bitet rakunk, ott a képen szóköz lesz! Az alfanumerikus vezérlőkarakterek a betűkre hatnak (szín, villogás stb.). A grafikus vezérlők grafikus alakzatokra (rajzolni lehet velük). A nagybetűknek nincs grafikai változata, ezért anélkül írhatunk velük a képekre, hogy üzemmódot váltanánk. A grafikai elemek kitöltése összefüggésben van a kódjával (ki-be kapcsolható valamelyik része). Hasonlóan a színek kódjai is „keverik” a RGB komponenseket – könnyebb a dekódolás. A grafika lehet folytonos vagy elváló, amikor az elemek nem érnek össze egymással és a szomszédos karakterrel sem.

| b7         | b6 | b5                    | b4                    | b3 | b2 | b1 | b0 | 0 <sub>0</sub> | 0 <sub>01</sub> | 0 <sub>10</sub> | 0 <sub>11</sub> | 1 <sub>00</sub> | 1 <sub>01</sub> | 1 <sub>10</sub> | 1 <sub>11</sub> |
|------------|----|-----------------------|-----------------------|----|----|----|----|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Silek      | 0  | 1                     | 2                     | 3  | 4  | 5  | 6  | 7              | a               | b               | c               | d               | e               | f               | g               |
| 0 0 0 0 0  | 0  | NUL                   | DLE                   |    |    |    |    | E              | P               | e               |                 | p               |                 |                 |                 |
| 0 0 0 1 1  | 1  | α<br>vörös            | grafikus<br>vörös     |    |    | 1  |    | A              | Q               | a               |                 | q               |                 |                 |                 |
| 0 0 1 0 2  | 2  | α<br>zöld             | grafikus<br>zöld      |    |    | 2  |    | B              | R               | b               |                 | r               |                 |                 |                 |
| 0 0 1 1 3  | 3  | α<br>sárga            | grafikus<br>sárga     |    |    | 3  |    | C              | S               | c               |                 | s               |                 |                 |                 |
| 0 1 0 0 4  | 4  | α<br>kék              | grafikus<br>kék       |    |    | 4  |    | D              | T               | d               |                 | t               |                 |                 |                 |
| 0 1 0 1 5  | 5  | α<br>bíbor            | grafikus<br>bíbor     |    |    | 5  |    | E              | U               | e               |                 | u               |                 |                 |                 |
| 0 1 1 0 6  | 6  | α<br>encian           | grafikus<br>encian    |    |    | 6  |    | F              | V               | f               |                 | v               |                 |                 |                 |
| 0 1 1 1 7  | 7  | α<br>fehér            | grafikus<br>fehér     |    |    | 7  |    | G              | W               | g               |                 | w               |                 |                 |                 |
| 1 0 0 0 8  | 8  | villag                | rejtés                |    |    | 8  |    | H              | X               | h               |                 | x               |                 |                 |                 |
| 1 0 0 1 9  | 9  | stabil                | folytonos<br>grafika  |    |    | 9  |    | I              | Y               | i               |                 | y               |                 |                 |                 |
| 1 0 1 0 10 | 10 | inert<br>vége         | elváño<br>grafika     |    |    | :  |    | J              | Z               | j               |                 | z               |                 |                 |                 |
| 1 0 1 1 11 | 11 | inert<br>kezdöt       | ESC                   |    |    | :  |    | K              | A               | k               |                 | a               |                 |                 |                 |
| 1 1 0 0 12 | 12 | normál<br>magasság    | fekete<br>háttér      |    |    | <  |    | L              | O               | l               |                 | o               |                 |                 |                 |
| 1 1 0 1 13 | 13 | kétszeres<br>magasság | új<br>háttér          |    |    | =  |    | M              | A               | m               |                 | a               |                 |                 |                 |
| 1 1 1 0 14 | 14 | SD                    | tartott<br>grafika    |    |    | >  |    | N              | Ü               | n               |                 | ü               |                 |                 |                 |
| 1 1 1 1 15 | 15 | SI                    | elengedett<br>grafika |    |    | ?  |    | O              | -               | o               |                 |                 |                 |                 |                 |

☐ Karakter mező

Fekete = karakter szín

Fehér = hattyú szín

A dekóder feladata kinyerni az átvitelből az órajelet, adatjel-videójel szétválasztás, Hamming-kód megfejtése, távkapcsolón beadott oldalszám összehasonlítása az aktuális oldallal. Egyezés esetén a lapmemóriába íródik. Kiolvasás folyamatos, a karaktergenerátor betűket állít elő (videójelet).

Teletext digitális tévé mellett is szerepelhet, de nem a sorkioltási időbe van beleillesztve, hanem az MPEG adatfolyam „adat” részébe, és az van multiplexálva a képpel és a hanggal. Nagyon hasonlít az analóg rendszer felépítéséhez, csak egy hat bájtos PES fejléc van hozzácsapva, majd egy 39 bájtos opcionális PES fejléc következhet, végül a TXT adatok 44 bájtos blokkokra osztva sorakoznak a megszokottak szerint. A TXT-t tartalmazó adatfolyamok azonosítói a PMT táblában találhatók, a privát PID azonosítóknál.



TXT kép.

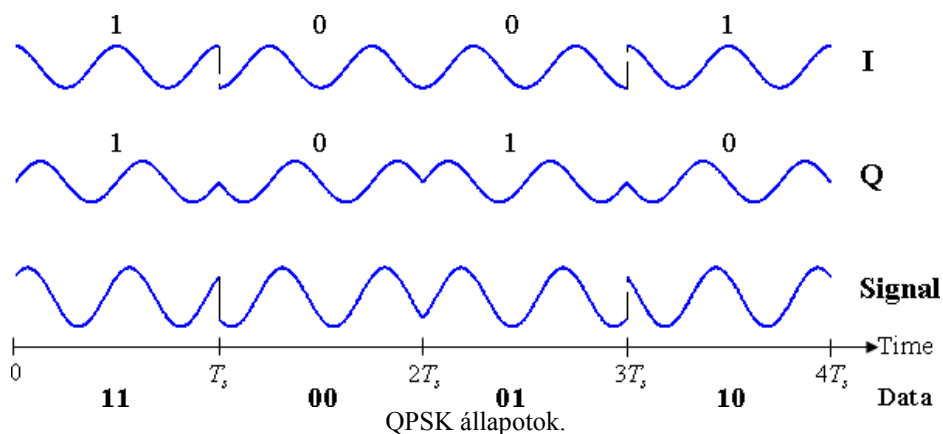
#### 4.2.2 DVB-S, DVB-S2

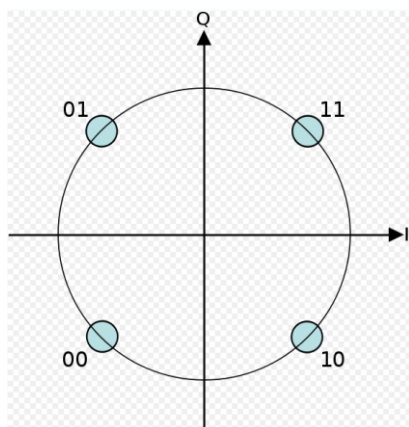
Időrendben az első digitális televízióadás műholdról érkezett. Más szóval, a digitális átállás a műholdas műsorszórásban kezdődött, itt volt megfelelő sávszélesség ennek bevezetésére.

A műsorszóró műholdak geostacioner pályán, az egyenlítő felett 36000 km-re keringenek, keringési idejük megegyezik a Föld forgási idejével, így letről állónak látszanak.

Tekintettel ekkora távolságra, 200 dB-nél is nagyobb a szakaszcsillapítás, robosztus moduláció és hibatűrésre van szükség. A műholdas eszközök mikrohullámú technikán ún. haladó hullámú csövet alkalmaznak (fenn a műhold-transzponderen), melyek nagyon is nem lineárisak. Így olyan moduláció, amely amplitúdójában hordozza az információt, nem megfelelő. A rossz jel/zaj miatt túl sok állapotot se alkalmazhatunk, így jöhet szóba a QPSK.

A csatorna sávszélessége 33-36 MHz, az alkalmazható szimbólumsebesség 27,5 MSZ/sec, mivel QPSK esetén 2 bites egy szimbólum, kb. 55 Mbps-ról beszélhetünk. Az uplink frekvenciák 14-19 GHz, a downlink 11-13 GHz-en vannak.

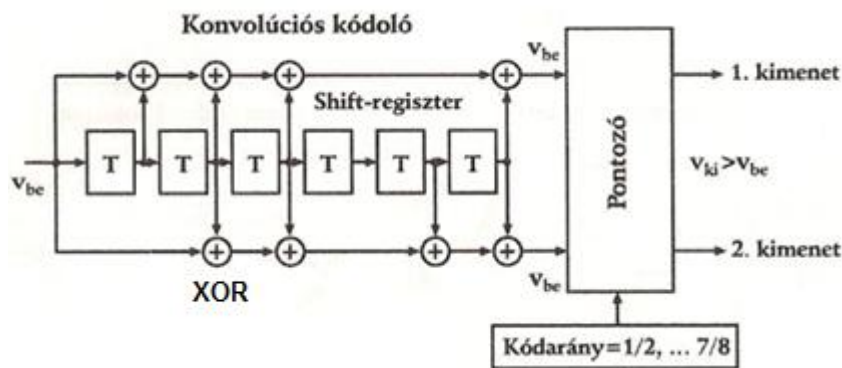




Egy lehetséges QPSK konstellációs diagram.

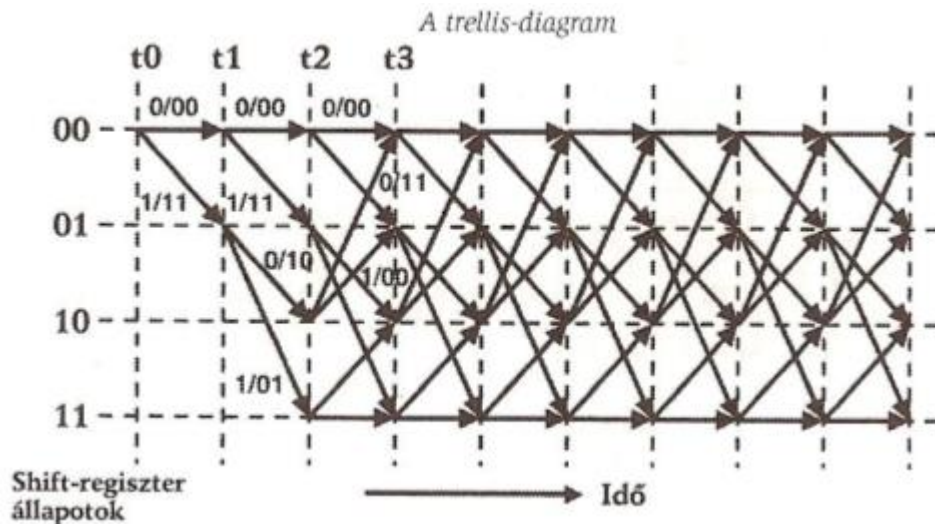
Az alkalmazott hibajavítás kettős: először egy „belső” kódoló, Reed-Solomon, amely RS(204,188)-at használ, így plusz 16 bájtot hozzáadva, a 204 bájtos blokkban 8 bájt javítható. Ezzel kb. 50 Mbps-ra csökken a hasznos adatsebesség.

A második „külső” kódoló a konvolúciós (trellis) kódoló, a megfelelő 1/2, 3/4, 2/3 ill. 7/8 kódarány mellett. 1/2 aránynál kétszeresére duzzad a bitfolyam, ez a leghatékonyabb, de egyben legpazarlóbb hibajavítás. Pld. 3/4 arány esetén a hasznos sebesség 38 Mbps-ra csökken.



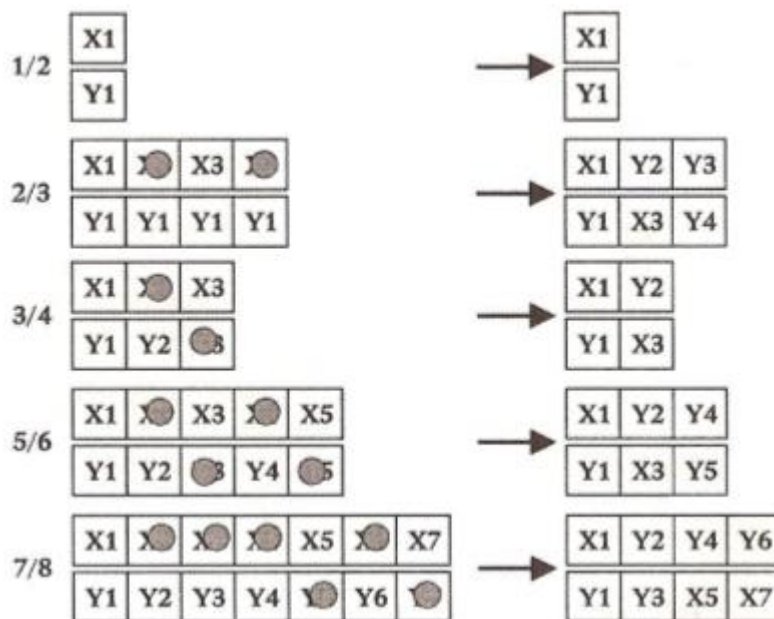
A konvolúciós kódoló.

A konvolúciós kódoló egy hatfokozatú shift-regiszter megcsapolási pontokkal, amelyek a bemeneti adatokkal kombinálódnak. Egy bementi bit értéke hat korábbival kerül így kapcsolatba, logikai KIZÁRÓ-VAGY (XOR) műveleteken keresztül. Végeredményként két adatkimenet keletkezik a két jelúton, ez az 1/2 kódarány. Azért nevezik konvolúciós kódolónak, mert ez a struktúra FIR-szűrővel is megvalósítható, amelyek egyébként konvolúciót végeznek. A lényeg, hogy adott diagramon követhető végig egy bit „életútja”, ezt nevezzük Trellis diagramnak. Bizonyos állapotokba csak bizonyos állapotokból lehet jutni, és hibamentes esetben ezen a Trellis-fán visszafejthető a jelút. Hiba esetén azonban nem, így csak megbecsülhetjük, melyik volt a legvalószínűbb ág és arra javíthatunk. Ezt a fajta valószínűségi dekódolást Viterbi-dekódolónak nevezzük (más néven ez a „konvolúciós dekódoló”).



A Trellis diagram.

A hibavédelem ún. pontozással módosítható. Ekkor bizonyos bitek „kilövésével” csökkentjük a kódarányt, rontjuk a hibajavító képességet. A Viterbi-dekódoló az így eltüntetett biteket hiánynak tételezi fel, és mint hibát, megpróbálja kijavítani. DVB-S esetén a konvolúciós kódoló két ága közvetlenül hajtja meg a QPSK modulátort.

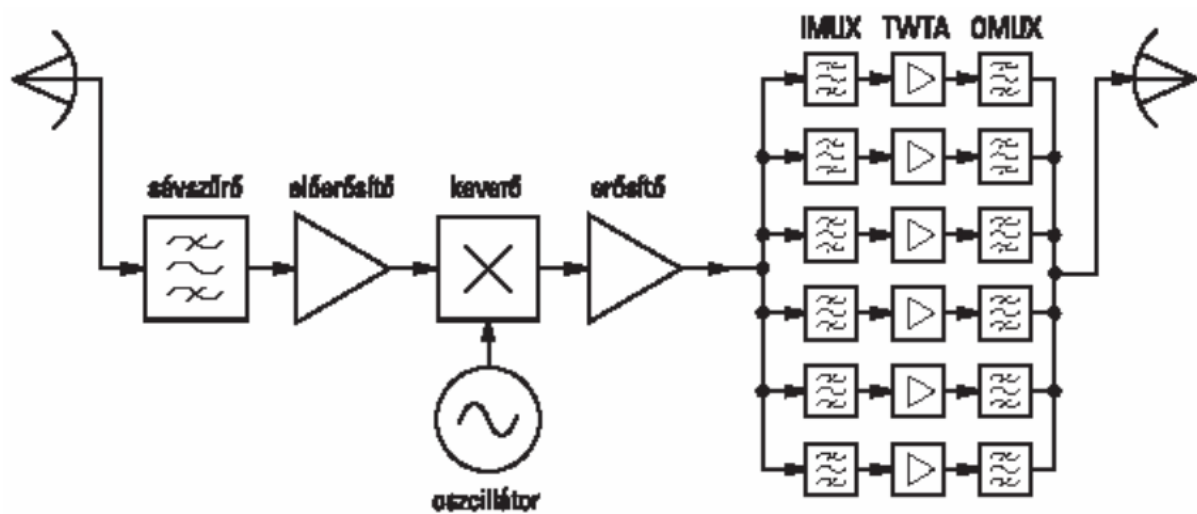


A modulátor feladata még az energiaszétterítés, amely megakadályozza a hosszúságú csak 0 vagy csak 1-ből álló folyamatokat. Ezek károsak, mert órajel információ nincs bennük, a szinkron kieshet, ráadásul a modulált jel spektrumában hosszabb ideig előforduló nem kívánatos diszkrét spektrumvonalakat eredményez. Az energiaszétterítés ilyenkor ál-véletlen bitsorozatot ad a jelhez XOR művelettel (amelynek ellentettjét a vevőben is meg kell oldani). A börsztös hibák elleni átszövés mélysége 11 MPEG adatcsomagra terjed ki. Végül a spektrum széleit lekerekítjük a csatorna széleinél, és az IQ modulátor előállítja a QPSK jelet. QPSK modulációt IQ-modulátorral is elő lehet állítani, ekkor I-jelútra +1 ill. -1 V-ot kell

váltakozva adni, míg a Q-jelútra szintén, ami tulajdonképpen a 00, 01, 10 és 11 bitkombinációnak felel meg.

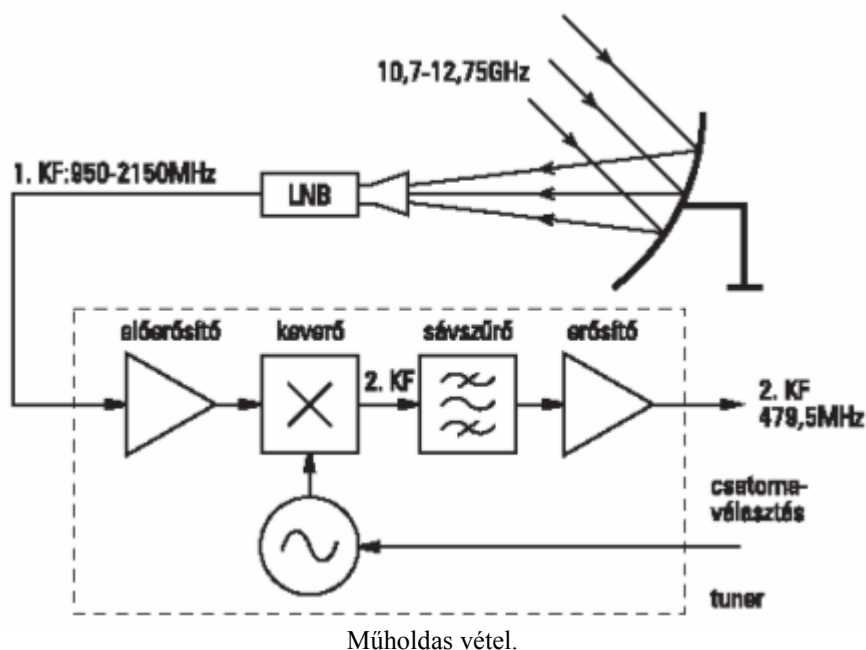
Említsük még meg, hogy a Hilbert-transzformáció is alkalmas eszköz az IQ moduláció világában. A Hilbert-transzformátor olyan egység, amely minden frekvencián 90 fokos fázistolást hajt végre, a koszinusból szinuszt, a szinuszból mínusz koszinuszt csinál, még hozzá amplitúdótól, frekvenciától és fázistól függetlenül. Ezt az eszközt analóg módban nagyon nehéz volna realizálni (amely képes egy alaphang és annak minden felharmonikusára ezt megtenni), de digitális számítással könnyű megvalósítani. Ilyen eszközzel oldalsáv elnyomást lehet létrehozni IQ moduláció után.

Erősítés után az antenna felsugározza a felkevert jelet mikrohullámon, melyet a műhold nagy nyereségű antennával vesz, sávszűr és erősít (transzponder). Az adóantenna is nagy nyereségű, kb. 100 W teljesítmény mellett, viszonylag irányítatlan (nagy lábnyomú). Az adás lehet H vagy V polarizációjú.



Transzponder a műholdon.

A vevőkészülék szintén paraboloid antennával rendelkezik, mellyel a mikrohullám jelet vesszük és csőtápvonalon át vezetjük az alacsony zajú fejbe. Ez lekeveri kb. 1-2 GHz-es KF-re, amely már koaxon vezethető a beltéri egységbe (set-top-box). A hibajavításnak köszönhetően a vevőben a Viterbi dekódoló előtti kb.  $10^{-2}$  BER-ből  $10^{-4}$  lesz. Az RS-dekódoló után pedig  $10^{-11}$  nagyságrend, ami óránként egy hibás bitet jelent.



DVB-S2 annyit jelent, hogy a rendszer HDTV kompatibilis. Az ehhez szükséges set-top-box ára lényegesen nagyobb. Képes a 8PSK-32PSK demodulálására is, MPEG4-ben. Egy műhold-transzponder képes simulcast-ban MPEG2 SDTV és MPEG4 HDTV-t is adni. Jelenleg csak a Pro7 és néhány másik demo csatorna szabadon fogható HDTV-ben, a többi fizetős és marad is (kártyás).

A DVB-S2 lehet interaktív is. Hierarchikus modulációval lefelé kompatibilis. Nem csak MPEG, hanem általános adatfolyamokat is kezelhet, ráadásul egyszerre többet is (és FDM elven egy kimeneti adatfolyammá egyesíteni). Az RS-kód és a belső konvolúciós kód helyett ún. BCH kódolást és alacsony sűrűségű paritásellenőrző kódolást alkalmaznak (LDPC). Lehet 8PSK, 16 és 32APSK is (utóbbiak nagyobb adólinearitást igényelnek). A keretszerkezet lehetővé teszi az adaptív, változó moduláció alkalmazását (akár keretről keretre). Optimális  $\frac{1}{4}$ -es kódarány, QPSK moduláció, ideális demodulátor esetén akár -2 dB-es vivő/zaj arány mellett is elérhető a QEF ( $10^{-7}$ -en hibaarányú a hibajavítás után). Legrosszabb üzemmódban ugyanehhez 16 dB-et kell biztosítani. Mindez a DVB-S-hez képest kb. 30% hatékonyságjavulás. Egy 36 MHz-es transzponderen 25 körüli SD vagy 5-6 HD csatorna fér el.

#### 4.2.3 DVB-C, DVB-C2

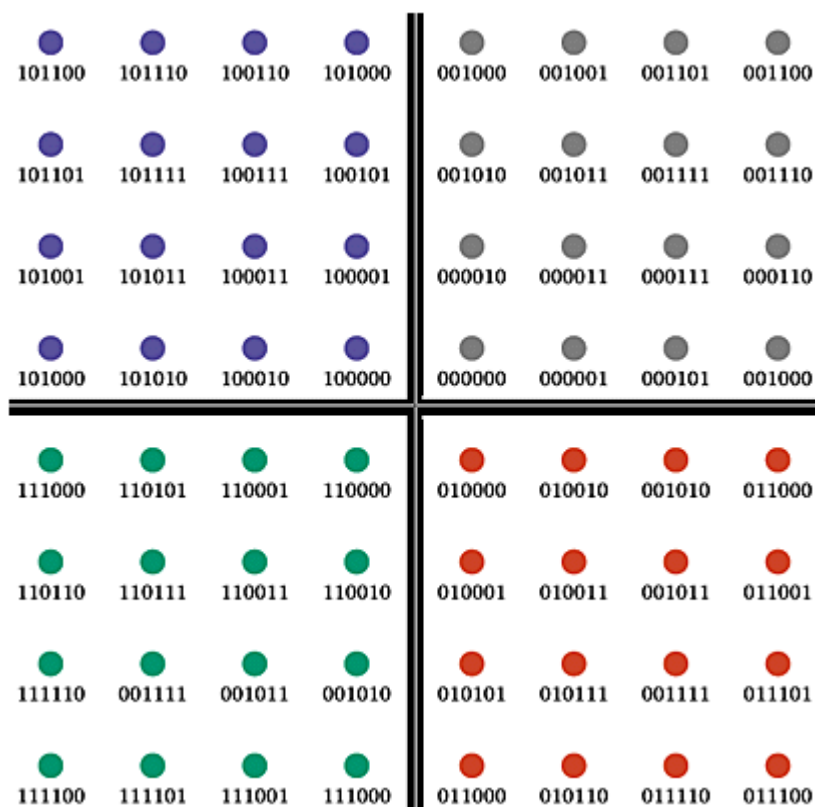
Az analóg kábeltvé jó tulajdonsága, hogy a szokványos, földfelszíni vételre alkalmas készülékek mindenféle egyéb nélkül vehetik a kábeltvé adást. Továbbá, több tucat csatorna is érkezik, a falba dugott antenna kábelén keresztül. Magyarország nagyon jól lefedett kábeltvével. A szolgáltatónak nincs is más dolga, mint kihúzni a kábeleket, megfelelő erősítők beiktatásával, valamint a saját telephelyén műholdakról ill. földfelszíni terjesztésről szerzett adókat egymás mellé bekeverni a kábelre. Az egész hálózat 400-800 MHz-es sávzélességgel rendelkezhet, erre 8 MHz-es tévécsatornákkal és ennél jóval kisebb rádiókkal számolva is hatalmas mennyiségű hely áll rendelkezésre. A tipikus számuk ezeknek kb. 50 Tv csatorna és 20 rádióadó, a kábel emellett alkalmas modem segítségével digitális hang és adatátvitelre is, ezért viszonylag olcsón viszonylag szélessávú internet elérést és telefonálást

is biztosíthat. Az ún. Triple-Play digitális szolgáltatás magában foglalja a digitális kábeltévét, telefon és vezetékes internetet. Az egyetlen hátrány, hogy a szolgáltatás havidíjas. Jegyezzük meg, hogy a földfelszíni adásokért is fizetünk: vagy adót, vagy pedig a kereskedelmi tévék a reklámokból fedezik a költségeket. Műhold esetén a beruházás egyszeri, 1-2 év alatt behozza az árát, hisz a többsége az adóknak itt is ingyen nézhető. Természetesen mindhárom digitális platformon lehetőség van a kártyás-előfizetési csatornákra. A minőség általában hasonló, de megfelelő szatellit rendszerrel érhető el a legjobb minőség.

A kábel előnye a műholdhoz képest, hogy sokkal jobb a jel/zaj viszonya (és a késleltetése is, de ez nem olyan lényeges). Így nagyobb állapotszámú moduláció alkalmazható, koax kábelen 64QAM, optikán 256QAM.

A DVB-C modulátorban az MPEG2 adat szinte pontosan ugyanazon megy keresztül, mint műholdas esetben, egyedül a konvolúciós kódolás marad el ill. a moduláció változik, hisz itt az amplitúdó is hordoz információt.

Egy hagyományos 8 MHz csatornában 64QAM és kb 7 MSZ/s sebesség mellett a lekerekítést is figyelembe véve kb. 40 Mbps érhető el. Itt is RS (188,204) alkalmazunk, így a hasznos sebesség 38 Mbps körüli. Vegyük észre, hogy ugyanezt a DVB-S egy 36 MHz-es csatornában tudja biztosítani!



64QAM konstellációs diagram.

A vételhez szükséges a beltéri egység. Noha a hagyományos TV készülékek tunere képes a kábeles vételre, a QAM demodulátorra szükség van. Az előfizetés is általában kártyás, így vagy a TV készülék vagy ennek hiányában a beltéri egység kell rendelkezzen kártyafogadó nyílással (Common Interface). A CI önmagában még nem jó a kártya fogadására, először egy dekóder modul (interfész) szükséges hozzá, amely mint egy dokkoló egység funkcionál. A földfelszíni MPEG4-es adásokhoz is kell ilyen (Conax modul). A DVB-C2 tulajdonképpen csak a HDTV kompatibilitást jelzi, ill. az MPEG4 dekóder meglétét (9 Mbps). Kábelen, mivel van elég sávszélesség, elvben MPEG2-ben is adható HDTV (18 Mbps). További nagy előny,

hogy a szimulcast könnyen megoldható, hiszen 40-50 analóg csatorna mellett csak néhány 8 MHz sávszélességre van szükség egy halom digitális adás bekeveréséhez. Ugyanez DVB-T esetén nem áll fenn, hiszen ott nem több száz csak néhányszor 8 MHz áll rendelkezésre.

|                                  | DVB-C2                                         | DVB-C                                         |
|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| One transmission channel (8 MHz) | 8 HDTV channels<br>16 Standard TV channels     | 5 HD channels<br>10 Standard TV channels      |
| Full cable network (860 MHz)     | 760 HDTV channels<br>1420 Standard TV channels | 475 HDTV channels<br>950 Standard TV channels |
| DOCSIS 3.0 (using 4x8 MHz)       | 300 Mbps (downstream)<br>180 Mbps (upstream)   | 200 Mbps (downstream)<br>120 Mbps (upstream)  |

A vevők általában digitális IQ-demodulátort tartalmaznak, a legnagyobb hibák az inter- és keresztmodulációs termékek az átvitelben, az erősítők könnyen okozhatnak nem lineáris torzítást is. Utóbbira a DVB-C jelek nagyon érzékenyek. Legalább 23-26 dB-es jel/zaj-ra van szükség a hibamentes vételhez (QEF,  $10^{-11}$  BER). Analóg esetben az előfizetőnél analóg csatornára 46 dB SNR van előírva. Mivel a digitális jel 13 dB-vel kisebb, tehát ott ez 33 dB lesz. Ez a QEF-vételhez elegendő.

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

| Moduláció | Szimbólumonkénti bitszám ( $m$ ) | Teljes (bruttó) adatsebesség ( $v_{sz} \cdot m$ ) [Mbit/s] | Hasznos (nettó) adatsebesség ( $v_h$ ) [Mbit/s] | Sávszélesség kihasználás ( $v_h/B$ ) [(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                                               |

#### 4.2.4 DVB-T, DVB-H

A DVB-T átállás kapta a legnagyobb visszhangot. Ennek oka az, hogy a DVB-S átállás már régen megtörtént és csak a műholdat nézők csoportjában volt esemény, mondjuk „magánügy”. A kábeles DVB-C átállás jelenleg is zajlik, még hozzá nagyon ráérősen, hiszen a szimulcast időszak erőteljesen kitolható, ráadásul nem is nagyon látszik az érdeklődés. A műholdasoknál a dolog nem jelentett problémát, hiszen ők már így is, úgy is beltéri egységgel nézték a műsort. Ez általában SCART-csatlakozóval kapcsolódott a tévéhez (vagy a videóhoz) és a külön távkapcsoló is megszokott volt már. Az a tény, hogy a beltéri egység nincs beépítve a tévébe sok kellemetlenséget okoz(ott). A TV csak mint megjelenítő vett részt a rendszerben, és egyszerre két távkacsoltót nyomkodva, jó sokáig is eltarthatott mire sikerült képet kapni. A videófelvételek sem voltak egyszerűek, hiszen csak egy csatornát lehetett beprogramozni, ha egyáltalán, így a videófelvétel pont a lényegét veszítette el. A DVB-S bevezetése ezen semmit sem változtatott, csak a minőség javult.

A DVB-C átállás azonban újdonságként és az összes fenti nyűgével meghozta a set-top-box-ot. Az analóg kábeltévések ehhez nem voltak hozzászokva és videójuk is teljes kapacitással, programozhatósággal kihasználható volt. Be kell látnunk, hogy néhány digitális minőségű

csatorna behozatala nem jelent akkor előnyt a vevőoldalon, hogy ezért a fentiekkel kelljen fizetni. A szolgáltatók gyakran ingyenes akciókkal, ingyenes beltéri egységekkel csábítják átállásra a nézőket, sikertelenül. Manapság, amikor minden embernek, minden szobában külön TV-je van, mindegyikhez külön beltéri kell és az oly elterjedt merevlemezes DVD felvevőket sem lehet rendeltetésszerűen használni, hiszen azok csak az analóg vételre alkalmasak. Megoldás lehet az olyan beltéri egység, amely rendelkezik beépített merevlemezzel, de ezek ára horribilis. Ugyanakkor itt is igaz, hogy a DVB-C-ra való csábítás a szolgáltató és a előfizető ügye.

A DVB-T esete egészen más, hiszen a földi műsorszórás közügy. Jelenleg a 3 adót sugárzó földi rendszert nagyon kevesen nézik, ők az ún. tetőantennás nézők, elsősorban falusi környezetben. A városok kábelesek jórészt, az igényes nem városi néző pedig rég műholdat néz, így a lakosság legszegényebb, legkevésbé érdekelt részét érinti ez az EU által kötelezett átállás. Magyarország különösen mostoha e téren, hiszen egyáltalán nem érdekelt benne. Az olyan országok, amelyek kábellel nem túl ellátottak és földrajzilag indokolt (svájci hegyek, olasz tengerpart), ott a földfelszíni sugárzás jelentős és az átállás is érdemes. Ami nagyon fontos: az állami szerepvállalás itt elkerülhetetlen, hiszen a közszolgálati tévé mindenkit megillet (adót fizetünk érte!), ezért csak úgy lekapcsolni nem lehet. Továbbá, pénzügyileg is meg kell könnyíteni az átállást hiszen minden vevőhöz set-top-box-ra lesz szükség, amit olcsón kell biztosítani. Éppen ezért a tájékoztatás, a több éves átállási idő indokolt, egyben felesleges is. A magyar viszonylatokra az MPEG2-es rendszer alapszinten bőségesen megfelelt volna, hisz ehhez olcsó a beltéri egység és a mérőberendezések is, helyett a drága MPEG4 került bevezetésre...

| előnyök                                   | hátrányok                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| kiváló képminőség, (VHS - DVD)            | jelentős költségvonzata van           |
| tömörített átvitel, 3-8-szor annyi műsor, | mind az adás, mind a vétel oldalon,   |
| kisebb adóteljesítmény (10 dB)            | set top box, antennák                 |
| többutas vételi lehetőség                 | UHF tartományban jelentős árnyékolás  |
| (nem zavar, hanem előny)                  | eső, párás levegő csillapítása nagy,  |
| hatékony frekvencia-kihasználás, SFN      | korlátos műsorválaszték (induláskor), |
| digitális felvételi lehetőség,            | „látványos”, zavaró képhibák,         |
| mobil vétel                               | kockásodás                            |

Az analóg TV készülékeken a minőségjavulás nem számottevő, de észlelhető. Lényegi javulást itt nem a képminőség, hanem a csatornák száma okozhat. A nem katódsugaras LCD és plazma tévéken ráadásul csalódottan veszi a vevő tudomásul, hogy az analóg kép rosszabb a korábbinál (ez természetes, hiszen rosszabb felbontású képet akar nagy felbontású kijelzőn megjeleníteni), így azok haszna csupán HDTV adásoknál ill. Blu-ray esetén fog megmutatkozni. Szerencsére, akadnak gyártók, akik az új készülékeiket multitunerrel szerelik fel, olyan is van, amelyik TV képes DVB-S, T és C vételre is, rendelkezik kártyanyílással is, és beltéri egység sem szükséges hozzá. Sőt, létezik olyan készülék, ami e mellé beépített merevlemezt is tartalmaz!

A DVB-T olyan előnyökkel rendelkezik, amivel sem a kábeles, sem a műholdas nem: a helyhez nem kötött, ill. mobil vétel lehetősége, mindezt jó minőségben és szélesebb programválasztékkal. Ezek rendkívül fontos szempontok, hiszen innentől a TV-kép nézése olyan mindennapos dolog lesz az autóban vagy nyaraláskor, netán a mobil telefonon, mint ma az FM rádiózás. Ez azonban új kihívásokat is jelentett.

A korábban megszokott analóg és digitális modulációs eljárásoktól el kell majd szakadnunk. Ott ugyanis jellemzően egyvívós rendszerek voltak, amelynek amplitúdóját, frekvenciáját, fázisát ill. ezek kombinációját változtattuk, de csak egy-egy vivőhullám hordozta egy-egy csatorna információját. A földfelszíni rádiózás legfontosabb rossz tulajdonsága a többutas terjedés. Ilyenkor nem csupán a közvetlen út létezik az adó és vevőantenna között, hanem a tereptárgyakról visszaverődve az eredeti jel csillapított és késleltetett verziói is beérkeznek és összeadódnak a vevőantennán. És ezt csak nehezíti a mobil vétel, amikor Doppler-hatással is számolnunk kell. Az ebből adódó zavar a vevőben idő- és helyfüggő térerősség-ingadozást fog okozni, amely hangerősség változáshoz is vezethet, ezek a fading-jelenségek. Ha egyvívós a rendszer, bizonyos helyeken akár teljes kioltás is lehetséges.

Analóg technikából emlékezhetünk még arra, hogy a fading alacsony sebességű átvitelnél (analóg rádiók, TV, 40 Mbps alatti digitális átvitel), jórészt szélessávú, frekvenciafüggetlen, így csak időben változó térerősség-ingadozást okoz. Ez esetben az ún. fadingtartalékkal védekezhetünk, ilyenkor az adóteljesítmény növelése hatásos ellenszer, különösen digitális esetben, ahol ezzel garantálhatjuk a jó BER-t. Egyéb esetekben a fading frekvenciafüggő, azaz szelektív, ez ellen az adóteljesítmény növelése nem segít. Két dolgot tehetünk: az első az adaptív kiegyenlítés, amikor valahogy állandóan mérjük a csatorna átvitelt és azt szűrőkkel dinamikusan kiegyenlítjük. A másik megoldás a diversity-rendszer, amely vagy térben vagy frekvenciában használ több átviteli utat. Térdiversity esetén két vevőantenna van és két vevő. Frekvenciadiversity esetén két különböző frekvencián megy át az adat egyidejűleg. Az ötlet egyszerű: két csatornás átvitelnél kisebb a valószínűsége a nagy hibának. A sok, véletlen nagyságú és fázisú vektor eredőjét a Rayleigh-fading (gyors fading) modell írja le, ez csak akkor lép fel, ha mobil kommunikáció esetén a bázisállomás és a vizsgált pont között mozgó tárgyak vannak. Ha nincs mozgó tárgy, a térerősségkép áll, időben csak akkor mozdul el, ha a vevőantenna mozog.

Amennyiben digitális egyvívós modulációt alkalmazunk, a szimbólumsebesség nagy, amelynek reciproka a szimbólumidő igencsak kicsi, 1  $\mu$ sec körüli. Ugyanakkor a rádiócsatornában ennek több százszorosa a késleltetési idők, így ez ISI-hez vezet. Ez ellen a szimbólumidő megnövelése a gyógyszer, illetve ún. védelmi intervallumok (adásszünetek) beiktatása a szimbólumok közé. Sajnos ez az adatsebesség csökkenéséhez is vezet. Ez azonban a fading ellen nem véd. Ha azonban az információt nem egy vivő, hanem sok hordozza, és a hibajavítás is jól működik, a fading nem az egész adatfolyamot fogja „kilőni”, annak csupán kis részeit. A vevőben aztán a hibajavítás, amely a teljes adatmennyiséget védi, valamint a sérülésmentes vivők segítségével ezeket kijavíthatja. Mivel a sok vivő csak egy részét viszi a teljes adatmennyiségnek párhuzamosan, a szimbólumidő is megnövelhető (msec nagyságrend), így két legyet ütünk egy csapásra.

TV adások esetén az egyik lehetséges jó megoldás a többvívós moduláció, ahol a „nagy” adatsebességet leosztjuk akár több ezer „kis” vivőre. Emellett az egyéb zavarok, zajok ellen átszövésével és hibajavítással is védekezünk. A legismertebb és a DAB ill. a DVB-T által használt moduláció az OFDM (Ortogonalis Frequency Division Multiplex).

Az OFDM-ben több ezer alvivő van, melyek egymást nem zavarják, hiszen a szomszédok ortogonálisak egymásra. A teljes adatfolyam hibajavítással lesz ellátva (COFDM), majd széteszik az alvivők között (frekvenciaosztásos nyalábolás). Az alvivők külön moduláltak, általában QPSK, 16QAM vagy 64QAM-el. Alkalmazható differenciális kódolás is, ahol a az

egymás utáni szimbólumok különbsége hordozza az információt (DQPSK), amely önjavító képességgel rendelkezik, fázishibát javítja, a vevő egyszerűsödik.

Belátható, hogy a minimális zavar a szomszédos vivők között, azaz az ortogonalitás feltétele, hogy a vivők között távolság és a szimbólumidő egymás reciproka legyen. Pld. „2k” üzemmódban a távolságok 4 kHz, a szimbólumidő 250  $\mu$ sec, a vivők száma pedig 2048. Végeredményben börsztös adatcsomagok kerülnek átvitelre, ezek az OFDM szimbólumok. Minél több a vivő, annál sztochasztikusabban néz ki a végeredmény.

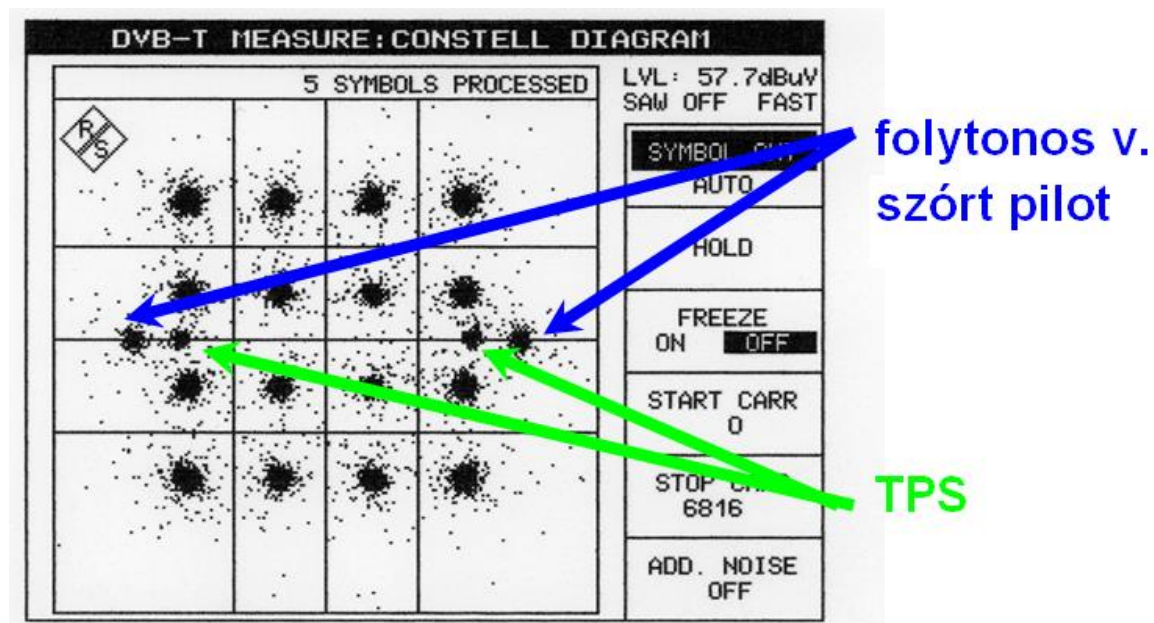
A védelmi intervallumnak tovább kell tartania, mint a leghosszabb késleltetés, hogy ne legyen ISI. Valójában ekkor nem csend van, hanem a következő szimbólum végét sugározzuk ki az adóból. Ennek oka szinkronizáció, nehogy kiessen a vevőkészülék. Ha a védelmi intervallum végébe berakjuk a következő szimbólum végét, autokorrelációs számítással a vevő megtalálja a jelben az ismétlődő részeket és megtalálható a szimbólumokban az ISI mentes rész eleje és vége.

A vivők modulációja lehet az alábbi:

- adat
- nem használt vivő
- folytonos pilot
- szórt pilot jel
- különleges adatvivők.

Az OFDM spektrum szélein lévő vivőket általában nem használunk, csak csökkentik a szomszédos csatorna áthallását (szűrés után), és számukkal jól kézben tartható a bementi adatsebesség és a vivőszám illesztése. A vállcsillapítást okozó szűrők is egyszerűsödnek így.

A folytonos pilot célja az AFC fokozat vezérlése. Koszinusz hullámok, a valós tengelyen található konstellációs pontokkal. Ha a vevő és az adó frekvenciája nincs szinkronban, a konstellációs pontok forognak. A vevő a folytonos pilotot kiszűri és a vevőt szinkronizálja hozzá. A változó pilotok mérőjelként funkcionálnak a demodulátor számára, mint a csatorna átvitelét meghatározó sweep-jelek lennének. A különleges adatvivő tájékoztatja a vevőt az adásmódról és annak változásáról (TPS).



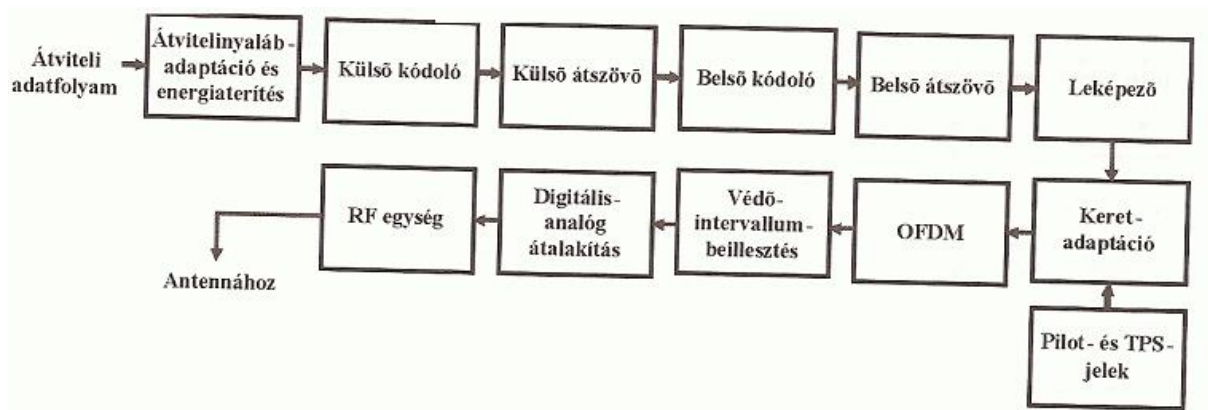
Az OFDM támogatja a hierarchikus modulációt, azaz egy képtartalom különböző hibatűrési szintjeinek átvitelét: egyet jobb minőség és jó jel/zaj esetére, illetve leromlott BER esetén egy rosszabb minőségi fokozatot.

A DVB-T tervezésekor az alábbiakat kell figyelembe venni:

- Analóg esetben bizonyos szint- és időkéseletetés után szellemképet kapunk (megfelelő irányítottságú tetőantenna kell ellene, a teljesítmény növelés nem segít a fading ellen).
- Csatornakódot és modulációt kell választani az MPEG 2 vagy 4 -hez
- Cél digitális esetben: a lehető legnagyobb védelem a földfelszíni csatornával szemben, mely *idő- és frekvenciaszelektív*.
  - időjárás
  - többutas terjedés (növények, házak): a vevőbe a jel több úton jelentős amplitúdó és futási-időkülönbséggel érkezik be
  - mozgó, mobil vétel esetén:
    - Doppler-szóródás: a mozgó vevő közelében lévő álló vagy mozgó tárgyak okozzák, különböző amplitúdójú és fázisú hullámcsomagok érkezik 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.
- FEC: Forward Error Correction hibavédelem, amely QEF (quasi error free) vételt tesz lehetővé, kb.  $10^{-11}$  BER mellett.

A vivőszám meghatározásakor egymásnak ellentmondó paramétereknek kell megfelelni.

- Kisebb vivőszám esetén rövidebb szimbólumidő, rövidebb védelmi intervallum (GI), közelebb vannak az alvivők egymáshoz, Doppler hibákra érzékenyebb (áthallás).
- Nagyobb intervallum: kevesebb, távolabbi adók, ami olcsóbb, de csökken az adatsebesség. Minél nagyobb a védelmi idő annál nagyobb reflexiók kezelhetők.
- 2k és 8k üzemmód
  - 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, így SFN-hez jobb
  - 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 védőintervallummal és az alvivők állapotának számával. A robosztusság fordítottan arányos.

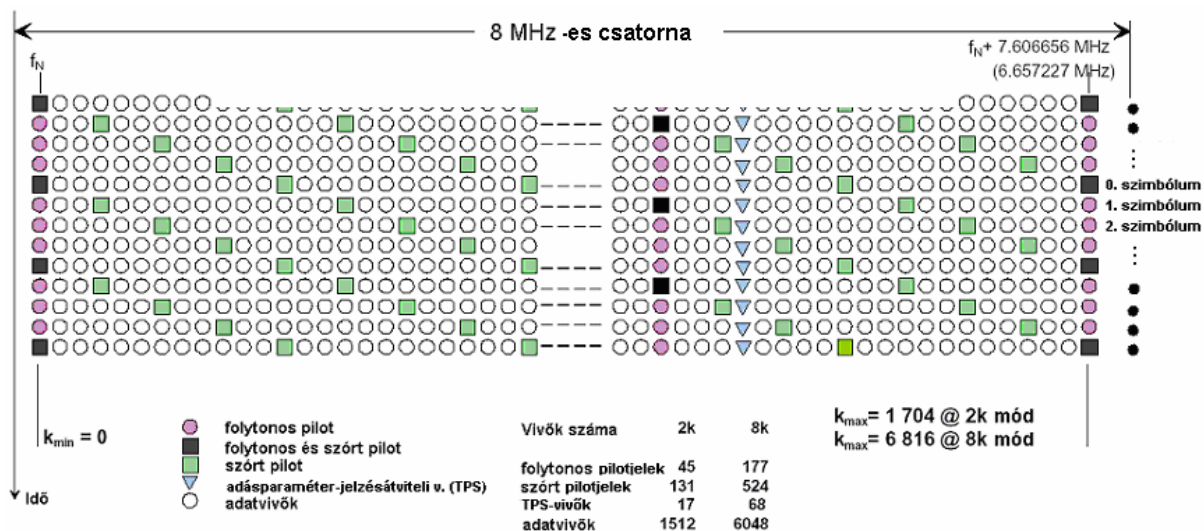


Az alábbi ábra mutatja a folyamatot. Energiaterítés célja itt is az esetleges energiacsomóktól való megszabadulás, az adatfolyam álvéletlenné alakítása, így ha csatornák között áthallás lenne, az véletlen zajként jelentkezik, mert nincs benne energiacsomó.

A kisugárzott teljesítmény állandó, így több állapot esetén azok távolsága kisebb és az hibaérzékenyebb, de az adatsebesség nő. Az átviteli sebesség 5-31 Mbps. A korábban megismert lépések itt is használatosak:

- RS (204, 188) külső kódoló
- Külső átszövő (interleaving), amely 12 darab 204 byte-os csomagot összekever (időbeni sorrend) a csatorna burstös hibái ellen.
  - Belső kódoló = (pontozott) konvolúciós kódoló, ami bithibák ellen védi a már RS kódolt és összekevert adatokat.
- Belső átszövés: ez biztosítja, hogy a bitfolyamban egymás melletti információk frekvenciában szétszóródjanak (ami az OFDM-nek jó lesz). Eredmény: 2, 4 vagy 6 bites kódszavak, attól függően hogy az egyes alvivők QPSK, 16QAM vagy 64QAM-ben lesznek modulálva.

DVB-T esetén a konvolúciós kódoló két ágából egy ágat készítünk a bitek felváltva történő összeillesztésével a moduláció előtt. A DVB-T nem differenciális modulációt alkalmaz, hanem koherens rendszer. A rádiócsatorna torzításait ismerni és korrigálni kell, erre szolgálnak a mérő pilotjelek. Az OFDM szimbólumok minden 12. vivője szórt pilot, amelyek szimbólumonként hárommal odébb vándorolnak. A konstellációs pontjuk egybeesik a pilotjelekkel. A TPS vivők helyzete rögzített, modulációja DBSPK. A pontos vivőelrendezések az irodalomban megtalálhatók.



Vivők az OFDM modulációban

Az OFDM moduláció önmagában független attól, hogy az adott ország milyen hálózatot üzemeltet, nem feltétlenül szükséges az ún. egyfrekvenciás SFN hálózatok alkalmazása, de igencsak elterjedt. Ennek oka, hogy jó frekvenciagazdálkodást tesz lehetővé.

- Az adók jele a vevőantennán összeadódik, de nincs interferencia, ha pontos az időszinkron az adók között.
- Spektrum megtakarítást lehet elérni és egyenletesebb térerősség elosztást.
- A vevőben a természetes reflexiók alacsonyabbak és kisebb késleltetésűek (2-30  $\mu\text{s}$ ), mint a másik adó jele (30-300  $\mu\text{s}$  az adótávolságok függvényében).
- A távoli adó jele nem érkezik később, mint a védőintervallum vége, mert akkor ISI lesz. Vagy az időt kell növelni, vagy az adótávolságot csökkenteni ilyenkor.
- Az adóknak ugyanazt a bájtot (adatsomagot) pontosan egyidőben kell kisugározni.
- Hátrány: regionális adóknak nem jó. Továbbá a szinkronizáció nehéz (GPS-jelekkel)! Működhet együtt MFN adókkal is.
- Egyfrekvenciás hálózatban, ha az adók 60 km-re vannak, a védőintervallum =  $60\text{km}/300000 \text{ km/s} = 200 \text{ mikrosek}$ .
- Rádiófrekvenciás SNR: legalább 20 dB tetőantennával és min. 28 dB botantennával, de más modulációhoz ennél kisebb is elég.

A DVB-T2 itt is csak annyit jelent(ene), hogy a rendszer HDTV kompatibilis, de az elnevezést ritkán használják. Elsősorban álló vételre, noha a mobil is megy majd, állítólag. (Feltehetőleg lesz 16k és 32k COFDM adásmód is, valamint 256QAM az egyes vivőkre. Felülről kompatibilis lesz, de a DVB-T vevők nem fogják tudni venni MPEG4-AVC/H.264-ben lesz (MPEG2/H.262-vel szemben), és a későbbi tesztelő, „leamaradó” országok hajlanak felé, ami vezethet egy kelet-nyugati elválasztáshoz (set-top-boxok miatt). A H.264 az ITU neve, az MPEG4-AVC pedig az ISO/IEC megnevezés, de ugyanaz a kettő.

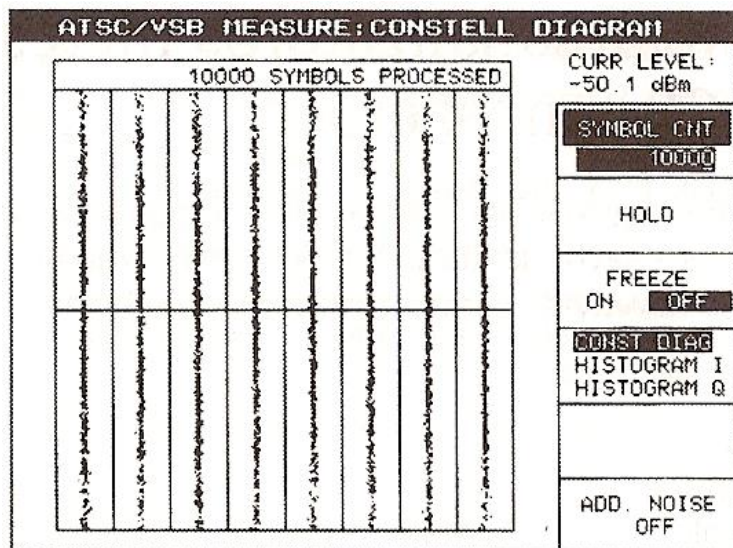
A DVB-H (DVB-Handheld) a mobil vételre optimalizált, átdolgozott DVB-T variáns. Magyarországon mindkét platformot az Antenna Hungária kezeli, de valójában a kettőre együtt nem is volna szükség: a DVB-T megfelelő tervezésével megoldható lett volna annak kiváltása. A DVB-H-nak sok létjogosultsága nincs, mivel fizetős és a fizetőképes kereslet csekély. A mozgásból adódó Doppler-hatás frekvenciaelcsúszást a vevők AFC fokozat követni tudja (pld. 500 MHz vivő és 200 km/h esetén ez az elcsúszás csupán 94 Hz). A szükséges adók száma: 1-80 darab, 5-8 MHz sávszélesség mellett, QPSK vagy 16QAM modulációval, kép WMV9 vagy H.264 AVC (MPEG4) 250-450 kbps-el, AAC hang. A DVB-H közvetlenül nem alkalmas MPEG2 TS továbbításra, de az AVC hatékonyabb is. Több csatorna fér el, ráadásul a végberendezés képernyőjének felbontása, mérete kicsi: 8 MHz-be

akár 100 program is beférhet. Lehetőség van ennek keretében időosztásos csatornaosztásra is: a megjelenítésre szánt adatfolyam sebessége kisebb az átvitelnél, ezért szakaszosan lehet több programot kiadni, és addig a vevőt lekapcsolni (akár 95% energia megtakarítást is jelenthet). Cél: a DVB-T rendszert csak kicsit módosítsuk, de nőjön az adatfolyam védettsége elsősorban impulzusszerű zavarokkal szemben és nagyobb legyen a rendszer tervezésekor a szabadság. Négy helyen módosították a DVB-T rendszert:

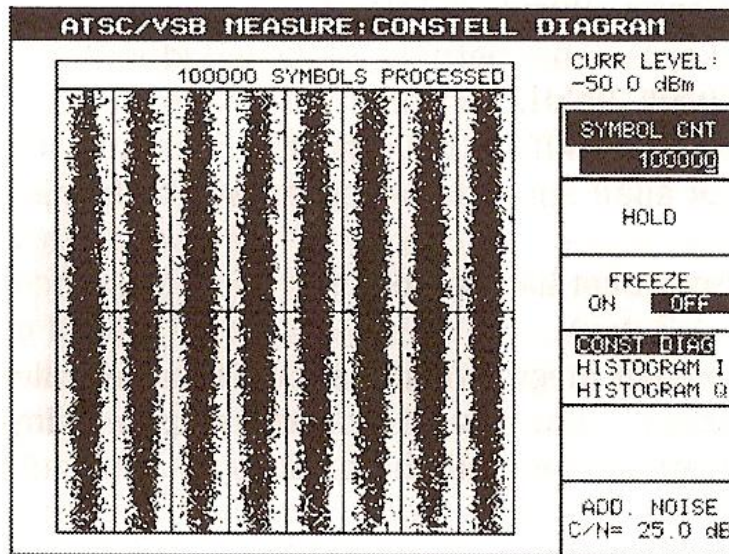
- 4k üzemmód is van
  - Rugalmasabb tervezés, de SFN még használható
  - 2k-hoz képest az adócella mérete duplája lehet
  - Doppler ellen jól véd
- Más a belső átszövés menete
  - Ha rögzített a vétel, a belső átszövés mélysége nem nagy, de itt új módszerrel ez a mélység növelhető, a védettség nő
- Kiegészítették a TPS infókat
- 5 MHz-es sáv szélesség is használható a 8 MHz helyett

2009 őszén Budapestről három adóról az UHF38-as csatornán SFN hálózatban történik az adás, egyelőre ingyenesen. A beltéri lefedettség csak Budapesten belül, a kültéri azon kívül is biztosítható. A becsült felhasználók száma tízezer, az m1, m2, DunaTV, Duna II, ATV és Hír TV található meg a kínálatban. A kereskedelmi alapú szolgáltatásokat nemsokára indítják.

Végül jegyezzük meg, hogy Amerikában a DVB-T helyett az ATSC rendszer működik, ahol egyvívós a moduláció, 20 Mbps MPEG2 a kép és Dolby Digital a hang, előtérben a HDTV célja szerepel. A moduláció nyolcállapotú csonkaoldalsávú 8VSB moduláció. Ez olyan egyvívós módszer, amely a kvadratúramodulációnak csak az I-tengelyét használja, és azon 8 konstellációs pont van (tulajdonképpen egy 8ASK-ról van szó). Ez egy lépcsős amplitúdójú szinuszos jel, melynek spektrumában van két oldalsáv, amelyből az egyiket az analóg technikában megismert módon csonkára szűrjük. Ennek hatására Q-irányú összetevők is megjelennek és a konstellációs diagramon nem pontok, hanem függőleges sávok láthatóak.



Zavarmentes 8VSB jel



Zajos 8VSB jel.

A rendszer egyéb jellemzői és mérés technikája sokban hasonlít a DVB-hez, részletes ismertetése az irodalomban megtalálható.

A második generációs digitális műholdas és földfelszíni műsorszórás a DVB-S2 és T2. Mindkét csatornában jellemzően alacsony a jel-zaj viszony (vivő-zaj viszony) ami ellen RS, konvolúciós ill. átszövéses hibavédelmi kódokkal védekezünk. A földfelszíni terjedéskor többutas terjedés is van, ami ISI-t okozna, ez ellen védőintervallumokkal és megfelelően megválasztott szimbólumidőkkel védekezünk. Az OFDM során több, külön modulált, hosszabb periódusú vivő hordozza az információt. DVB-S esetén egyfrekvenciás QPSK van.

2000 után megjelent a hatékonyabb MPEG 4 videó és újabb hibakorlátozó kódolási eljárások, amelyek lehetővé teszik a HD minőséget. Az S2 és a T2 a bementi adatfolyam formátumában, hibavédő korlátozásban, a moduláció és keretszervezésben is tartalmaz újonságokat.

DVB-T2-ben általános adatfolyam és MPEG továbbítható, egyszerre többet is kezelhet a több bemeneten. Itt is BCH és LDPC van. Robosztusabb az OFDM, itt már 256QAM is lehet az alvivők modulációja. Adott nyalábban lévő különböző adatokhoz, más-más hibatűrési állítható be. Az OFDM szimbólumok keretekbe szerveződnek, melyek szeletekre, rész-szeletekre és cellákra oszthatók tovább. Ezek keretek között is átszűrhetők. Alkalmazható az ún. Alamouti-kódolás, amely adó-diversity segítségével növeli a lefedettséget, úgy, hogy ugyanazt az adatot módosítva több adó is kisugározza. A T2 a T-hez képest 40-45% hatékonyabb.

|                       | DVB-T                               | DVB-T2                                      |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| Hibakorlátozó kódolás | Reed-Solomon és konvolúciós kódolás | BCH és LDPC kódolás                         |
| Kódarány              | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8             | 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6                |
| Leképzés              | QPSK, 16QAM, 64QAM                  | QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM                  |
| Védelmi intervallum   | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32                | 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128 |
| FFT-méret             | 2k, 8k                              | 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k                    |
| Szórt pilotok         | Összes vivő 8%-a                    | Összes vivő 1, 2, 4 vagy 8%-a               |
| Folytonos pilotok     | Összes vivő 2,6%-a                  | Összes vivő 0,35%-a                         |

Megjegyzés: A fülkővel szedett értékek a DVB-T rendszer által biztosított paraméterek.

## 4.2.5 DVB mérések

A mérések között először az alábbiakat kell megnéznünk:

- mérések MPEG adatfolyamon
- mérések DVB-S
- mérések DVB-C
- mérések DVB-T esetében.

Az MPEG2 adatfolyamon történő méréseket is szabvány szabályozza. Három fontossági osztályt (prioritás) értelmezünk a hibák fajtáját illetően. 1-es hiba esetén nem lehet dekódolni a jelet, 2-es esetén részben lehet egy csatorna vétele, 3-as hibánál szolgáltatási hiba és kiesés következhet be. Néhány példa:

- 1.hiba: szinkronvesztés, PAT tábla hiba, PMT tábla hiba, PID hiba
- 2.hiba: CRC hiba, órajel hiba, CAT tábla hiba
- 3.hiba: kiegészítő táblák hibái, hiánya

Digitális képjelek minőségvizsgálata nem egyszerű. Az MPEG2 kódoló a legfontosabb ebben a láncban. Túl nagy tömörítés esetén blokkosodás léphet fel a makroblokkok határán, ekkor ugrásszerű Y vagy színjelváltozások következnek be. Akkor jó, ha az átmenet a blokkok határán folytonos. Egyszerű, blokkosodásra kevésbé hajlamos képtartalom, ahol kevés a mozgás és a kép nem részletgazdag. A sport a legjobban veszélyeztetett.

A mérési módszer lehet

- szubjektív
  - kettős ingeren alapuló folytonos skála
  - egyszeres ingeren alapuló folytonos skála
- objektív.

A szubjektív esetben emberek pontozzák a képminőséget 0-100-ig, vagy csupán a képet önmagában, vagy egy referenciaképhez viszonyítva.

Objektív esetben mérőműszert használunk, amely képes a blokkosodást mérni. Ehhez csak arra van szükség, hogy a szomszédos blokkok határán megvizsgálja, van-e ugrás, vagy megmaradt-e a folytonosság? Ezt minden blokkra el lehet végezni és átlagolni a képre. Ez alpból egy súlyozatlan értéket szolgáltat.

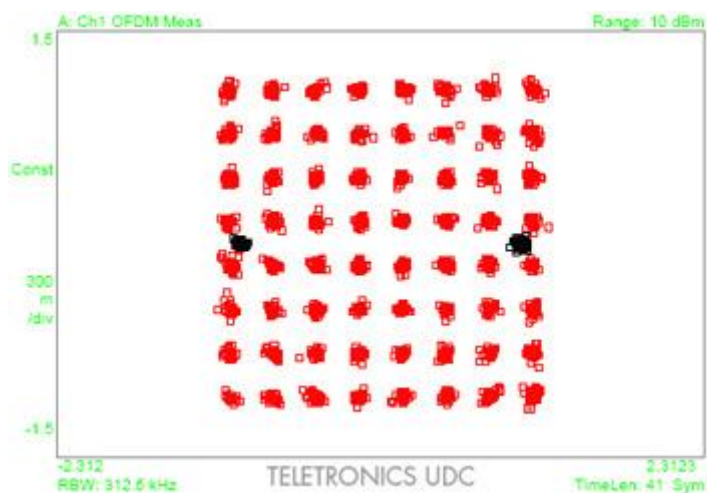
Mivel a szemünk képességei korlátozottak, érdemes lehet ezt a számot súlyozni a képtartalom függvényében. Meg kell állapítani időben és térben az ún. változékonyságot. Mindkettő képes arra, hogy elfedjen bizonyos átviteli hibákat, és a szemünk nem is fogja érzékelni azt. Pld. egy gyors képváltás elfedheti az előző képen lévő blokkosodást; vagy éppen egy zöld fűfelületen sem látszik annyira a hiba, mint a kép közepén egy arcon. Részletdús, vékony vonalakkal rendelkező képen nagy a térbeli változékonyság (SA), monokróm esetben nulla. A maximális SA értéke a pixelenkénti fekete-fehér saktábla kép. Időbeli változékonyság (TA) maximuma a tiszta fekete kép és a tiszta fehér kép váltakozása, míg nulla értékű ha állóképek sorozata van. Műszerek képesek ezeket kiszámítani és kijelezni, továbbá alapvető információkat is észrevesznek, mint pld. a kép lefagyása (TA=0), kép kiesése (TA=SA=0), hang megszűnése.

DVB-S esetén a két legnagyobb baj, amivel számolnunk kell: a kb. 200 dB-es szakaszcillapításból adódó zajok, ill. a mikrohullámú összeköttetés egyéb sugárzási zavarai. A legfontosabb mérendő jellemzők: a jelszint, a vivő/zaj viszony (C/N arány), a bithibaarány és a vállcsillapítás.

Bithibaarányt három helyen lehet mérni: a Viterbi-dekódoló előtt, a RS-dekódoló előtt és után. Az összeköttetést a Viterbi előtti érték jellemzi (értéke kb.  $10^{-9}$  és  $10^{-2}$  között van), ráadásul ezzel az értékkel lehet az antennát is beállítani. Az RS-dekóder után akár több órát is tarthat a mérés, ha jó a hibajavítás. A felfelé irányuló csatornában spektrumanalizátort használhatunk a méréshez. A C/N arányt dB-ben kijelzik ( $10\log P_{\text{vivő}}/P_{\text{zaj}}$ ). A DVB-S jel

elégge zajszerű. A válcsillapítás az a része a spektrumnak, amely a gondos lekerekítés ellenére átlóg a szomszéd csatornába, a csillapítás legalább 35 dB kell legyen.

DVB-C-nél sokkal több mindent lehet és kell mérni: jelszintek, jel/zaj viszonyok, IQ modulátor, zavarok, fázisdzsitter, reflexiók, BER, spektrum. A legfontosabb berendezés a konstellációs diagramot mutatja meg.



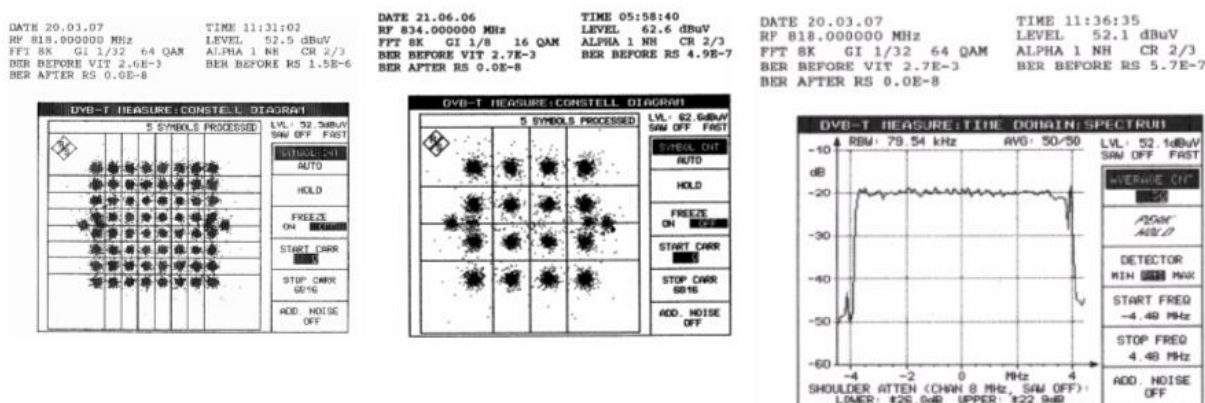
Additív fehérzaj hatása. A szórás számítható.

A konstellációs ábrából azonosítható a gaussi fehérzaj, a fázishiba, a modulátor hibái közvetlenül. A többi fontos paraméter pedig számítható. Pld. szinuszos zavar esetén körbeveszi az a konstellációs pontokat, a fázishiba rombusz alakúvá teszi a konstellációs diagramot, a vivőszivárgás eltolja egységesen valamilyen irányban. A modulációs hibaarány mérése és definíciója:

$$MER_{dB} = 20 \lg \frac{\sqrt{\text{a jel négyzetes középértéke}}}{\sqrt{\text{a hibajel négyzetes középértéke}}}$$

A válcsillapítás is mérendő, elvárt értéke 43 dB körüli.

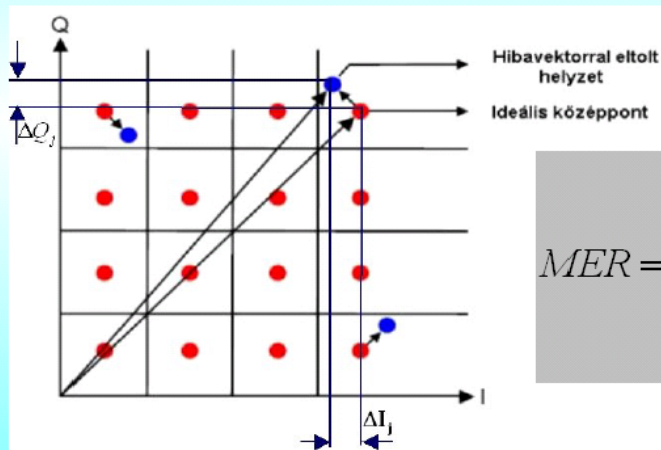
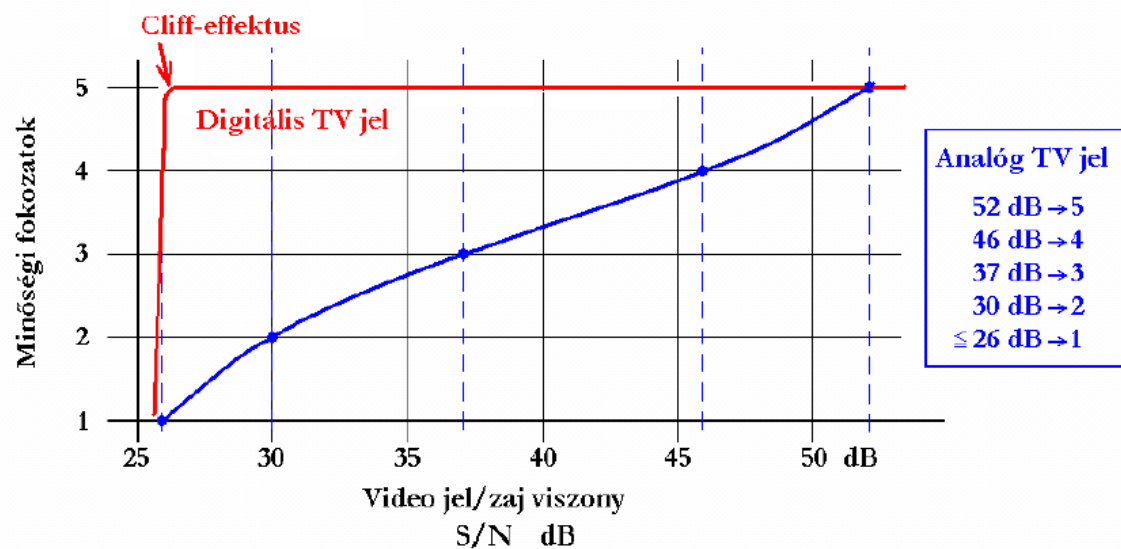
DVB-T esetén a helyzet nagyon hasonló.



Mérési eredmények.

## Minőséget meghatározó paraméterek:

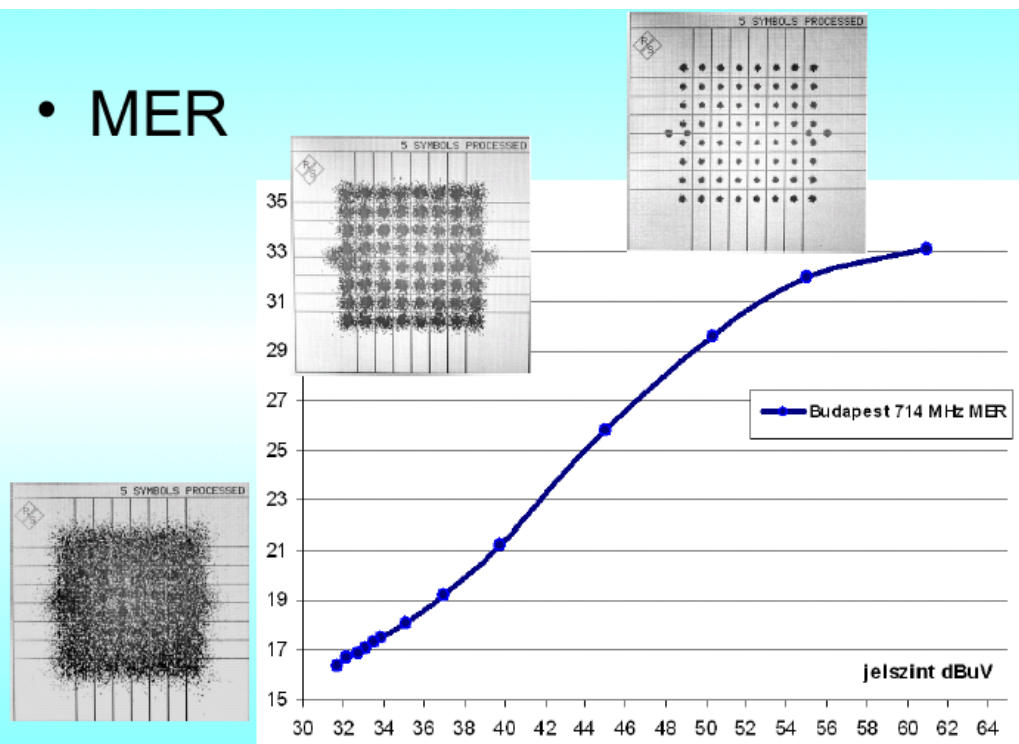
*analóg TV technikában elsősorban a S/N viszony*

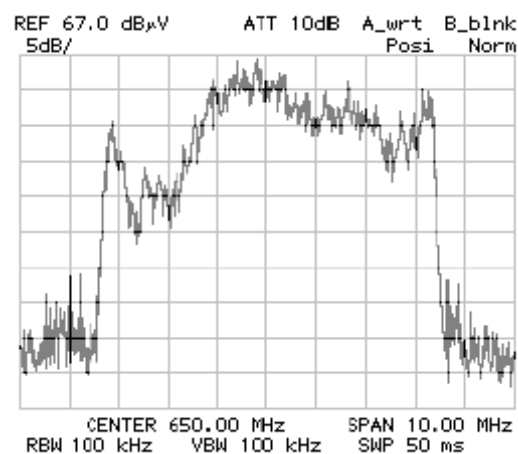
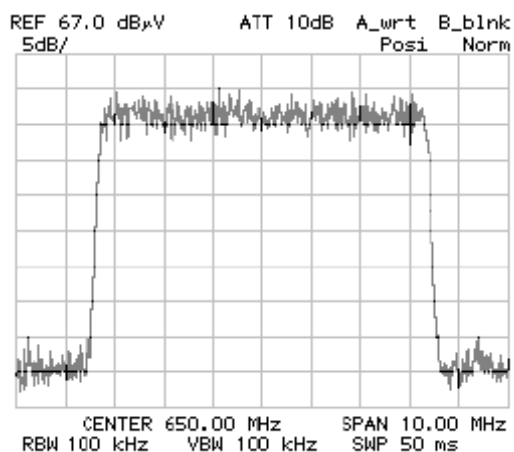
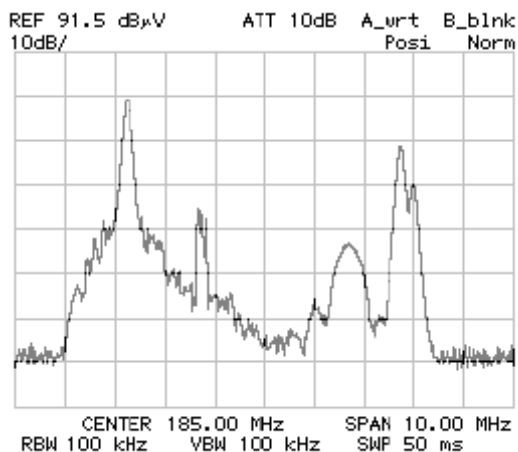


$$MER = 10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^N (I_i^2 + Q_i^2)}{\sum_{i=1}^N (\Delta I_i^2 + \Delta Q_i^2)} [dB]$$

| DVB-T MEASURE                   |               |                           |                           |
|---------------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| SET RF (8MHz)<br>818.00 MHz     | CHANNEL<br>64 | ATTEN : 0 dB<br>52.5 dBuV |                           |
| FREQUENCY/MER/BER:              |               |                           | CONSTELL<br>DIAGRAM...    |
| FREQUENCY OFFSET -0.094 kHz     |               |                           | FREQUENCY<br>DOMAIN...    |
| BITRATE OFFSET 6.9 ppm          |               |                           |                           |
| MER (RMS) 24.8 dB               |               |                           | SPECTRUM/<br>TIME DOMAIN. |
| BER BEFORE VIT 2.3E-3 (10/10)   |               |                           |                           |
| BER BEFORE RS 3.5E-7 (10/10)    |               |                           | OFDM PARA-<br>METERS...   |
| BER AFTER RS 0.0E-7 (78/100)    |               |                           |                           |
| OFDM/CODE RATE:                 |               |                           | RESET BER                 |
| FFT MODE 8K (TPS: 8K)           |               |                           | ADD. NOISE<br>OFF         |
| GUARD INTERVAL 1/32 (TPS: 1/32) |               |                           |                           |
| ORDER OF QAM 64 (TPS: 64)       |               |                           |                           |
| ALPHA 1 NH (TPS: 1 NH)          |               |                           |                           |
| CODE RATE 2/3 (TPS: 2/3)        |               |                           |                           |
| CELL ID 0000 (LI:17 INT:NAT)    |               |                           |                           |
| TPS RES (F1-F4) 00,00,00,00     |               |                           |                           |
| TS BIT RATE 24.12834 Mbit/s     |               |                           |                           |
| SYST OPTIM:FAST SAW:OFF         |               |                           |                           |

- MER





Analóg TV, DVB-T és annak többutas terjedéssel sújtott spektruma.

#### 4.2.6 További rendszerek

A legfontosabb kábeles versenyképes rendszer az IPTV. Kábeltévé hálózaton elsősorban, ahol internet és telefon szolgáltatás is van, tulajdonképpen MPEG2 TS az IP csomagban. Szolgáltatások:

- Javított minőségű TV és rádió
- EPG
- Near-video-on-demand (VOD): drága!
- Time shift, digitális felvétel
- TV pincér

Magyarországon is elérhető, nagy jövő elé néző technológia. A „majdnem kérésre” történő szolgáltatás során a lekért műsor egy műsortárban van, és IP felett érkezik kérésre. Drága, mert sok szerver kell hozzá és belassulhat a rendszer, ráadásul a választék egyelőre kicsi.



T-Home IPTV szolgáltatás (Cable World).

- Egy programnak több másolatát párhuzamosan, több csatornán, de időeltolással (rendszerint 15 -30 perces eltéréssel) sugározzák ki, ilyen módon a nézők – minimális várakozási idővel ugyan, de bármikor – megnézhetnek egy (fizetős) műsort, anélkül, hogy előre időpontot kellene egyeztetniük a szolgáltatóval.
- Az **SNVoD** (Subscription Near Video on Demand) pedig ennek egy prepaid konstrukciója, ahol az előfizetés után hozzáférhető a szolgáltatás és az arra jogosult néző az ott elérhető tartalmakat egy adott időintervallumon belül szabadon megtekintheti.

IP-ben csomagok mennek, tipikusan nincs meg a kép-hang (ajak) szinkron. Ez, és az egyéb késleltetések is a vevőben puffereléssel oldhatók meg. A hibavédelmet ill. a forráskódolást a csatorna aktuális kapacitásához kéne illeszteni. Az elveszett csomag pont olyan hiba, mint a túl későn beérkező. Ennek becslése és szabályozása „előre gondolkozva” fontos feladat.

Az időbeli hűség kérdése, hogy biztosított-e a folyamatos lejátszás, illetve mennyi idő telik el az adás és a vétel között? Ez lehet off-line, near-line (streaming) ill. on-line séma. Puffereléssel a lejátszás-folytonosság ingadozást is szabályozni lehet.

A digitális adások IP-felett történő továbbítása az IPTV, amely egy zárt hálózaton belül érhető el, ellentétben a nyilvános internetes adásokkal, amelyet Internet vagy web TV-nek hívunk. IPTV-ben egy szolgáltató üzemelteti a hálózatot, a hozzáférést, sőt sokszor a set-top-boxokat is. Továbbá, a képnek és a hangnak a többi adat rovására precedenciát biztosíthat, ez nyilvános interneten nincs így. Gyakran VoIP vagy VoD szolgáltatással is párosul (Triple Play). Mindig csak a lekért program van a hálózaton, a kívánt szolgáltatást és minőséget az egyidőben lekérhető programok száma, nem pedig elsősorban azok minősége határozza meg (2-3 Mbps kell egy SD csatornának). Ha egy adást többen néznek, multicast jelleggel kell kiszolgálni a nézőket, ez lehet lassú és problémás.

Interaktív videokonferencia esetén on-line séma kell, 200-400 msec késleltetések mellett. Jellemzője, hogy az időbeliség fontosabb a minőségénél. A végberendezés legyen olcsó, de egyszerre akár több ki-bemeneti adatfolyamot is valós időben legyen képes kódolni vagy dekódolni.

|                                                     | Off-line séma                       | Near-line séma                                                           | On-line séma                                             |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Elsődleges cél</b>                               | A teljes anyag letöltése            | Időben folytonos lejátszás                                               | Azonnali lejátszás, minimális késleltetés                |
| <b>Időbeli folytonosság</b>                         | Nem számít                          | Igen                                                                     | Igen                                                     |
| <b>Keret megjelenítése, lejátszása a vétel után</b> | Nem szempont                        | Vételt követő szükséges puffereleési késleltetés után                    | A vétel után azonnal                                     |
| <b>Pufferelés</b>                                   | Nincs szerepe                       | Időbeli folytonosság és hibakezelés érdekében                            | Minimális                                                |
| <b>Elveszett csomagok pótlása</b>                   | Mindig: hibajavítás vagy újraküldés | Ha a puffereleés lehetővé teszi, akkor újraküldéssel vagy hibajavítással | Nincs idő az újraküldésre, esetleg kis hibajavítás lehet |
| <b>Jellemző alkalmazás</b>                          | Média fájl letöltése                | Adatfolyam jellegű média-átvitel (media streaming)                       | Videótelefonálás, videokonferencia                       |

Internetes letöltések jövője? Különösen a sorozatok, vannak akik csak netes epizódokat is vetítenek és készítenek. Érdemes volna nem a rajongónak feltenni, hanem a tévétársaságnak. Olcsóbban lehetne bizonyos műsorokat csak a neten terjeszteni. A videótéka utóda az ilyen videótár a neten. Ehhez új kereső honlapok kellenek.

Lehet érte fizetni: általányt vagy letöltött méretek után. Reklám maradhat (ingyenes műsorokhoz), pld. előtte vagy felugró ablakban közben. Irányított reklám: csak az engem érdeklőt küldik el (intim betét vagy sportújság?).

Vajon szükség lesz-e egyáltalán a csatornákra? A neten nem vagyok időhöz kötve, nem késem le, nem kell fennmaradnom, nem kellenek a töltelék-műsorok. Nem kell tévétársaság, nem kell csatorna. A gyártó maga a műsorszolgáltató, nem kell videótéka, de talán DVD lemez sem.

További rendszerek még a WIMAX, 3G, NPVR, TSTV.

Németországban hamarosan online szolgáltatásokat is elérhetnek a tévénezők, így a nézők egy sorozat megnézése után a korábbi részeket is megnézhetik az interneten, számítógép használata nélkül. Számítógéppel most is elérhetők olyan online tévészolgáltatások, amelyekkel sorozatok korábbi epizódjait, nem sugárzott mozifilmeket és egyéb műsorokat lehet megnézni. A BBC által működtetett iPlayer és az USA-ban népszerű Hulu több millió nézőt vonz. Készül egy új technológia, amely a számítógép használatát is szükségtelenné teszi, és a tévében lesz elérhető az internet.

Évekkel ezelőtt bemutatkoztak azok a tévékészülékek, amelyekkel elérhetők bizonyos internetes tartalmak, a berlini IFA kiállításon is bemutattak néhányat, de ezeknél a nézőknek dönteniük kell, hogy online híreket akarnak olvasni, vagy inkább tévét akarnak nézni. Ehhez képest a készülő hibrid tévében az internet és a tévénézés teljesen összefonódik, és a

tévécsatornáknak nem kell többé aggódniuk, hogy az internet elveszi a nézőiket. Ennek éppen az ellenkezője történhet meg, a tévé hozza vissza a nézőket az internet elől.

Elképzelhető olyan főzős műsor, amelynek a végén linkek jelennek meg, és ezekre kattintva megnézhetők a korábbi adások. Vagy a nézők azonnal megrendelhetik a hozzávalókat egy online kereskedőtől.

hirdetés

A briteknél a Project Canvas nevű projekt foglalkozik a hibrid tévé fejlesztésével. A szolgáltatás mindenki előtt nyitott lesz - riválisok kínálhatják majd a saját műsorcsomagjaikat, legyen szó akár hírekről, mozifilmekről vagy sportról, és minden tartalom egyetlen elektronikus műsorújságban lesz elérhető.

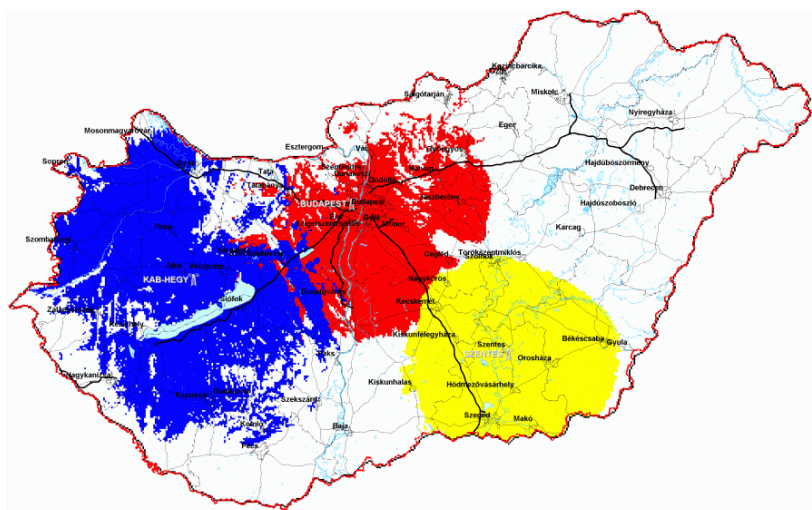
Ezzel szemben a Németországban elindított projekt, amit francia műsorszórók és gyártócégek is támogatnak, csupán a hibridtévés szabványokat határozza meg. A műsorszórók és a gyártók ezek alapján hozhatják majd létre a saját eszközeiket.

A BBC abban reménykedik, hogy a 2012-es olimpián már működik majd a Project Canvas, Németországban viszont már jövőre megjelenhetnek az első hibrid készülékek és szolgáltatások. A hibrid tévé egyetlen komolyabb hátránya, hogy a felhasználóknak új set top boxot kell majd venniük.

#### **4.2.7 Magyarországi helyzet**

Itthon a DVB-T átállás aktuális helyzete, hogy az Antenna Hungária megnyerte a pályázatot és MPEG4-ben mindkét multiplexen adhatnak, jelenleg is csábítják a csatornákat a digitális platformra. A kompatibilis vevőket, tévéket „minDIGTV” logóval keressük. A helyzet nem jó, hiszen az átállás lassú, az MPEG 4 választása indokolatlan és rossz döntés volt, ráadásul a célközönség a kereskedelmi adóknak nem célcsoportja így azoknak (RTL Klub, TV2) nem érdekük felmenni a digitális platformra. Kormánylobbi és egyén alkudozások eredményeként sikerült ezt 2009-ben nagy nehezen elérni.

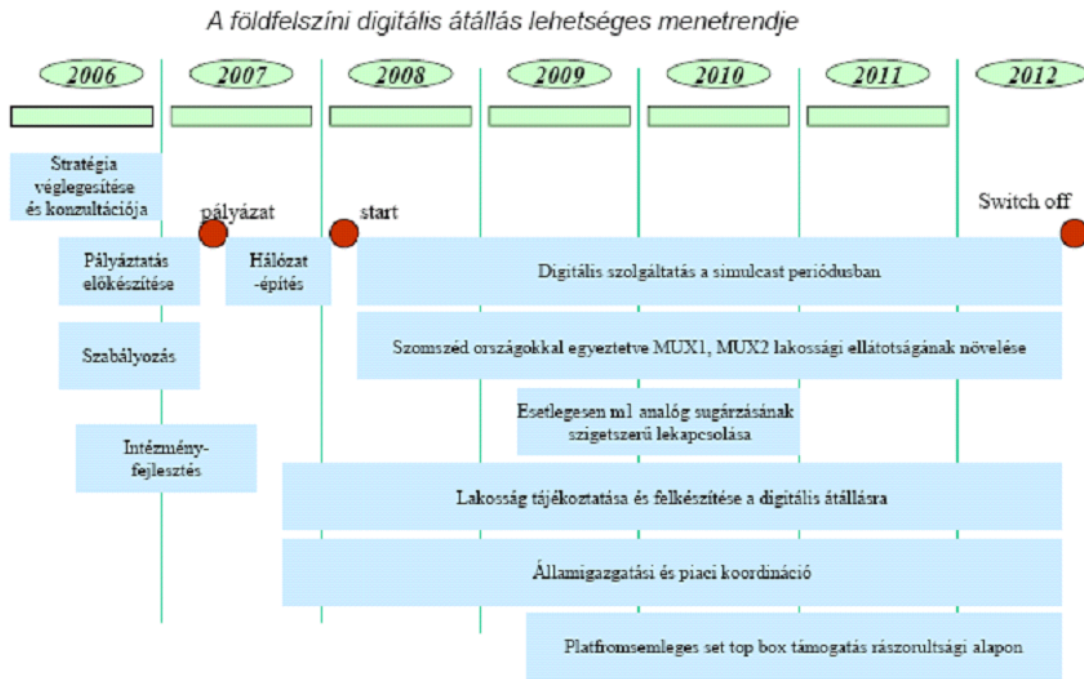
A digitális átállás lényege, hogy a tervek szerint 2012-ig megszűnik a hagyományos analóg földi sugárzású televíziós műsorszórás, és helyébe a lényegesen több csatorna átvitelére alkalmas digitális technológia lép. A jelenlegi, analóg földi sugárzásban országosan három csatornát (m1, TV2 és RTL Klub) lehet továbbítani, ezeket szoba- vagy tetőantennával, ingyen foghatják a nézők. A MinDig TV szolgáltatás elsősorban annak a 800 ezer háztartásnak kínál alternatívát, akik a földi analóg csatornákat nézik tető- vagy szobaantennával, illetve azoknak, akik előfizetési díj nélküli HD csatornákat szeretnének. Ahhoz, hogy a digitális földfelszíni adást venni tudják, szükséges egy dekóder (azaz jelátalakító készülék), vagy olyan televíziókészülék megvásárlása, melybe már beépítésre került ez a jelátalakító berendezés. Ezzel a készülékkel és a tetőantennával (egyes, az adókhoz közel eső területeken szobaantennával is) a szabadon fogható tartalmakat előfizetési díj nélkül tudják majd elérni a tévénézők. 3 telephely: Budapest, Kabhegy, Szentes, de további adók is tervben vannak. 66% lefedettség, tetőantennás vételre méretezve. AVC kódolás (MPEG4), csatornánként 2 HD + 2 SD program lehet, de csak az M1 és az M2 ad néha igazi HD-ben, a többség (DunaTV) vagy nem is ad HD-ben, vagy csak felkonvertált verziót.



A három telephely lefedettsége.

| Adó          | Tervezett Csatornák Indulás | Nagyobb települések ahol elérhető/elérhető lesz a MinDig TV szolgáltatás                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Budapest     | 2008 55, 62                 | Budapest, Érd, Dunaújváros, Dunakeszi, Szigetszentmiklós, Jászberény, Budaörs, Budakeszi, Szentendre, Hatvan, Gyál, Vecsés, Dunaharaszti, Monor, Fót, Százhalombatta, Göd, Dabas, Gyömrő, Pécel, Nagykáta, Pilisvörösvár. Részben ellátott: Gödöllő, Vác, Cegléd |
| Kabhegy      | 2008 64, 61                 | Székesfehérvár, Veszprém, Pápa, Ajka, Siófok, Várpalota, Sávár. Részben ellátott: Balatonfüred, Kaposvár, Sopron.                                                                                                                                                |
| Szentes      | 2008 60, 65                 | Szeged, Kecskemét, Békéscsaba, Hódmezővásárhely, Orosháza, Kiskunfélegyháza, Szentes, Makó, Mezőtúr, Szarvas, Csongrád. Részben ellátott: Szolnok, Nagykőrös, Kiskunhalas                                                                                        |
| Győr         | 2009 42, 61                 | Győr, Mosonmagyaróvár, Kisbér, Pannonhalma                                                                                                                                                                                                                       |
| Kiskőrös     | 2009 45, 68                 | Kecskemét, Szekszárd, Kiskőrös, Kiskunhalas, Kalocsa, Dunaföldvár, Paks                                                                                                                                                                                          |
| Nagykanizsa  | 2009 55, 65                 | Nagykanizsa, Keszthely, Hévíz, Nagyatád                                                                                                                                                                                                                          |
| Pécs         | 2009 52, 67                 | Pécs, Szekszárd, Baja, Mohács                                                                                                                                                                                                                                    |
| Szeged       | 2009 60, 65                 | Szeged                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Tokaj        | 2009 60 (68), 63            | Debrecen, Miskolc, Nyíregyháza, Hajdúböszörmény, Kazincbarcika, Hajdúszoboszló, Mátészalka, Tokaj, Sárospatak, Tiszaújváros, Mezőkövesd                                                                                                                          |
| Uzd          | 2009 52, 67                 | Szekszárd, Dombóvár, Baja                                                                                                                                                                                                                                        |
| Vasvár       | 2009 58, 68                 | Szombathely, Zalaegerszeg, Körmend, Sávár                                                                                                                                                                                                                        |
| Csavoly      | 2010 45, 68                 | Baja                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Kékes        | 2010 56 (44), 66 (69)       | Eger, Szolnok, Salgótarján, Ózd, Hatvan, Gyöngyös, Cegléd, Jászberény, Karcag, Törökszentmiklós                                                                                                                                                                  |
| Komádi       | 2010 51, 62                 | Békéscsaba, Békés, Püspökladány, Berettyóújfalú                                                                                                                                                                                                                  |
| Sopron       | 2010 42, 68                 | Sopron, Kapuvár, Csorna                                                                                                                                                                                                                                          |
| Aggtelek     | 2011 45, 63                 | Edelény                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Fehérgyarmat | 2011 58, 67                 | Mátészalka, Nyírbátor, Fehérgyarmat                                                                                                                                                                                                                              |
| Gerecse      | 2011 64, 63                 | Tatabánya, Tata, Komárom, Esztergom                                                                                                                                                                                                                              |
| Miskolc      | 2011 45, 63                 | Miskolc, Kazincbarcika, Sajószentpéter                                                                                                                                                                                                                           |

További adótervek (lásd MindigTV honlapja).



Az átállás ütemterve.

2010. júniustól az AH üzembehelyezte a harmadik pesti adót is, amelyek SFN-ben működnek. A két multiplex a 746 (55-ös csatorna) és 802 MHz-et (62-es csatorna) használja (9 kW ERP-vel). Jelenleg az A-multiplexen az RTL Klub, TV2, m1 és m2 HD, Euronews és a három közszolgálati rádió van fent; a C-multiplexen a Duna TV HD és a Duna II Autónómia, ezek a szabadon foghatók. A MindigTV EXTRA előfizetési csomagjai a C-multiplexen a HírTV és az ATV, valamint a NGeo, AXN, Film+, Cool, Disney, SportKlub, Fem3 és a Private. Győrben ugyanez a 642 MHz-es 42-es, ill. a 794 MHz-es 61-es csatornán érhető el.

#### 4.2.8 Dolby Vision

A tévék képminőségét az utóbbi években két módon próbálták növelni a gyártók: a képpontok számának, illetve a képfrissítés sebességének emelésével (a megbukott 3D-megjelenítéstől most elegánsan tekintünk el). 4K-s felbontás és 240 Hz-es frissítés körül azonban elérünk oda, hogy már alig-alig látszik a különbség a következő technológiai ugrásnál. A tévéipar bajban van, 2011 óta csökken az eladott készülékek száma világszerte, és amit eladnak, annak is egyre nagyobb része olcsó kínai tömegáru a hagyományos nagy márkák helyett. A statisztika pedig azt mondja, az átlag amerikai 7 évente cseréli le a tévét. A nagy cégek kétségbeesésükben már olyan felesleges dolgokkal állnak elő, mint a hajlított OLED képernyő. A Dolby Laboratories még 2014 januárban, a CES-en mutatta be a legújabb, megváltónak szánt technológiáját, a Dolby Visiont, ami nem kevesebbet ígér, mint hogy véget vet a tévézés „sötét középkorának”. Az új technológia éppen a fény irányából támad, pontosabban a fényerő, a kontraszt és a színtartomány felől. A helyzet ugyanis az, hogy miközben a felbontás és a képfrissítés frekvenciája a sokszorosára nőtt, az hogy az egyes képpontok milyen színeket tudnak felvenni, évtizedek óta nemigen változik. Az, hogy a kép nem elég fényes és nem elég kontrasztos, azzal jár, hogy elvesznek a finom részletek (hiába férne bele a megjelenítésük a felbontásba), és nem lesznek valóságűek a színek. A Dolby szerint a mai legjobb minőségű tévék is csak a valódi világ színeinek egyharmadát tudják visszaadni.

A mai tévék fényereje átlagosan 100 nit ( $\text{cd/m}^2$ , a fénysűrűség mértékegysége), bár a legjobb minőségű panelek felmehetnek 500 fölé is. Összehasonlításképpen, egy 100 wattos villanykörte 18000 nitet produkál. A Dolby marketingesei által előszeretettel mutogatott virág élénk sárgája eredetiben 14700 nit. Miután lefilmezték, és egy tévéen látjuk, kb. 80 - nyilvánvalóan nem ugyanaz a szín.

A Dolby Visiont meglepő módon nem a Dolby találta ki, hanem egy kanadai egyetemi kutatólaborból kinőtt startup cég, a Brightside. Az első, egyedileg szabályozható fényerejű LED-ekre épülő kísérleti képernyő, a DR37-P 2005-ben készült el, 49 ezer dollárba került, filmes effektek készítéséhez, 3D-tervezéshez, műholdfotók megjelenítéséhez ajánlották eredetileg. A Dolby 2007-ben vásárolta fel a céget, a technológiát átnevezte, és azóta azon dolgozik, hogy elfogadható szintre nyomja le az árát.

A Dolby tesztjei szerint a kísérleti alanyok nagyjából 20 ezer nit fényerőnél tartottak optimálisnak és élethűnek egy kijelzőt amellettt hogy még kellemes is nézni. Ez ugye azt jelenti, hogy kb. olyan fényerővel működik a tévé, mintha egy százas villanykörtebe bámulnánk (persze csak akkor áll meg a hasonlat, ha fehér képet mutat a tévé, az meg aránylag ritkán fordul elő és a 100 wattos izzóba is ritkán nézünk bele). A lényeg az, hogy a kép világos részei legyenek nagyon fényesek, üssenek el erősen a háttértől.

Kontrasztnál a tévék specifikációi mindenféle nagy számokat szoktak mutogatni, amik azt mérik, hogy a legsötétebb fekete és a legvilágosabb fehér képpont között hányszoros a különbség fényerőben. Bár az utóbbi években komoly számháború alakult ki a tévégyártók között ezen a területen, a több milliós értékek a tévék leírásaiban csak kreatív megfogalmazás és szemfényvesztés. A valódi kontrasztarány egy 2014-es tévéen valahol 1:2000 magasságában jár. Az emberi szem nagyjából 1,6 milliárd (amikor valaki egyenesen belenéz a napba) és 0,00001 (a csillagtalan éjszaka) nit közötti spektrumot látja, ez elvileg egy az egymilliószer egymilliárdhoz kontrasztarány. Na, ez az említett szemfényvesztés, hiszen a lényeg az, hogy egy képen belül mekkora a kontraszt. Ez a való életben átlagosan úgy 1:100000 körül van. Ezt próbálják a mai tévék 1:2000-rel visszaadni, és ehhez képest ígér százszoros növekedést a Dolby Vision.

A Dolby Vision csak egy szabvány, ami megmondja, milyen fényerő, kontraszt, színtartomány és egyéb értékeknek kell megfelelnie. A Dolby ezt úgy éri el, hogy 18 ezer, egyedileg szabályozható fényerejű ledre bízsa a képernyő háttérvilágítását. Ezt a technológiát veszi át többek között a Sharp, a TCL és a Vizio, de a CES-en már demózta a maga saját megoldását a Sony és a Samsung is. Az igazán szép az a dologban, hogy ez úgy tud a 4K felbontáshoz képest még további képminőség-javulást hozni, hogy ezzel a képalkotáshoz szükséges adatmennyiség csak 15 százalékkal nő (a nagyobb színmélység miatt muszáj több biten tárolni egy-egy képpont színét).

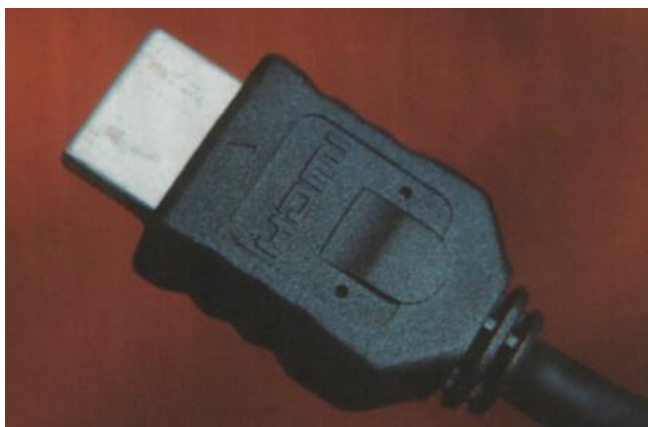
### 4.3 Átviteltechnika

A csatorna, közeg tulajdonságai: analóg és optikai kábelek, csőtápvonalak, erősítők/ismétlők, adók/vevők, fejjállomások, antennák, set-top-boxok.

HDMI:

- Nincs benne adattömörítés, minőségromlás.
- „bővített” DVI, átalakíthatók egymásba
- 8 csatorna, 24 bit, 192 kHz hang átmegy rajta, és 165 MHz sávszélességű kép, de benne rejlik a duplája is: 2,5 GB/s.
- Kétirányú: a tévé és a műholdvevő kommunikálhat (set-top-box).

- A kábel hosszától független a minőség (20 m se gond), de drága a hosszú kábel.
- HDMI 1.4 a legújabb, ez kell a 3D tartalom átviteléhez.



HDMI csatlakozó

Nem lesz sok időnk hozzászokni a tévék és kijelzők által használt HDMI-csatlakozóhoz, mert hamarosan helyébe lép az olcsó és széles körben elterjedt RJ-45, azaz a számítógépek hálózati csatlakozója.

Néhány elektronikai cég rájött, hogy teljesen fölösleges a HDMI technológia, amellyel a tévéket és monitorokat lehet összekötni a médialejátszókkal, erősítőkkel és számítógépekkel. Az új szabvány neve HDBaseT lesz, és pontosan ugyanazt a cat5e/6 kábelt és RJ-45 aljzatot használja, mint amivel a számítógéppel az internetre csatlakozunk.

A HDBaseT Alliance nevű iparági tömörülésnek jelenleg a Sony, a Samsung, és az LG a tagja, tehát a legnagyobb tévégyártók már az új szabvány mögé álltak. A szabvány 1.0-ás leírása elkészült, de az új csatlakozó várhatóan csak 2011-ben kezd elterjedni.

A jól bevált hálózati csatlakozónak sok előnye van a HDMI-hez képest. A HDBaseT kábele száz méter hosszú lehet, a tévészéshez szükséges audio- és videojelek mellett internetelérést is biztosít az eszközöknek. Ezen kívül akár 100 wattos energiaellátást is képes nyújtani, ami bőven elég egy energiatakarékos ledtévének.

Aki házat épít vagy lakást újít fel, annak már most érdemes készülnie a HDBaseT megjelenésére, mert néhány fali aljzat jelentősen megkönnyíti majd a tévék és lejátszók elhelyezését. Az univerzális csatlakozóval könnyebb lesz kiépíteni a kutyuk hálózatát, és a különböző eszközökön tárolt multimédiás tartalmak több kijelzőn lejátszhatóvá válnak.

A HDBaseT szerint az új csatlakozó már most tudja mindazt, amit a HDMI 1.4 tud, és még könnyen továbbfejleszthető.

A digitális tévék kulcsa is az átvitel része. Ez a feltételes hozzáférés (Conditional Access) témaköre, amelynek során a set-top-boxba ill. jobb tévék esetén közvetlenül a tévébe illeszthető az előfizetés fejében megkapott kártya. Ehhez úgynevezett Common Interface (CI)-re van szükség, valamint a dekódoló kártyára, amely a titkosított műsort nézni engedi. Az igazán minőségi adások, HDTV különösen, bizonyosan előfizetési.

A vevő a digitális és tömörített hasznos jelek mellett egy kódot is megtalál a jelben, melyet dekódol. A dekódoláshoz szükséges a smart kártya (a kulcs) a set-top-box számára. A kiadott kód legyen könnyen kezelhető, és gyorsan megváltoztatható (gyakori update). Az adó kódolási (titkosítási) eljárásának titokban kell maradni (ha kiderül egyszerre kell megváltoztatni az adó oldali kódot és az összes dekódot).

A DVB szabvány rendelkezik a CA módokról is. Két alapvető kódolási eljárás a Simulcrypt és a Multicrypt.

- Simulcrypt esetén egyetlen transzport stream képes a különböző CA rendszereken keresztül is a vételt biztosítani. (Hasonlóan a bankautomatához, amely több bank kártyáját is elfogadja)
- A multicrypt-hez szükséges, hogy a beltéri egység rendelkezzen egy Common Interface-el, amely egy cserélhető nyílás különböző kártyákhoz. Így a vevő képes különböző kártyarendszerek használatára úgy is, hogy maga a vevőkészülék az adott CA-ra fel lenne programozva.

A dekódoláshoz szükséges a smart kártya (a dekódoló jel rajta), a kódoló jel és a Customer Management System (CMS).

- CMS = Subscriber Management System + Entitlement Control Messages + Entitlement Management Messages
  - SMS = tárolja és vezérli az előfizető személyes adatait
  - ECM = a műsorokra vonatkozó adatok
  - EMM = (többek között) a szerződés lejáratát idejét tartalmazza

A biztonság érdekében a CA rendszereket fejlesztik (a kódokat) és változtatják. Minden chip generáció magával vonja a kártyacserét és a smart kártyák változását. A szoftvereket is frissíteni kell, ezek ideje általában 1-2-18 hónap.

## 5. Megjelenítők

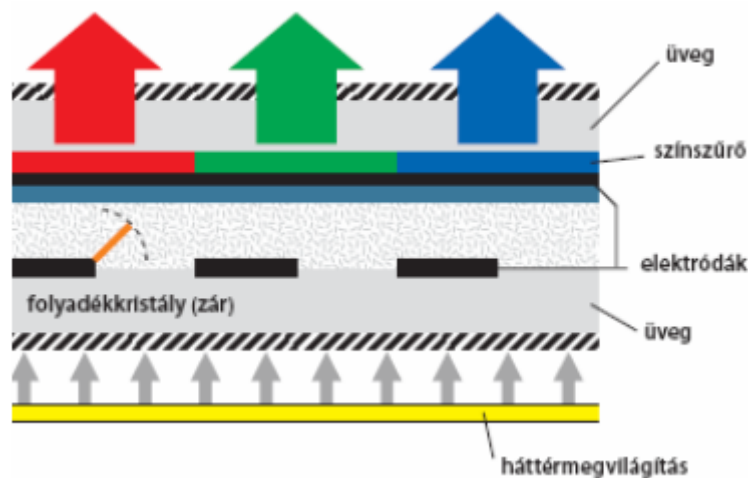
A hagyományos analóg tévékészülékek (monitorok) katódsugárcsővel rendelkeznek, méretük nagy és nehéz, hiszen a katódsugárcső nagy (hosszú), így a készülékek nagyon mélyek. Ráadásul túl nagy képméretet is nehéz létrehozni (1 méter a határ kb.) és a felbontás kb. a 800\*600-as-nak felel meg. Ez analóg váltottsoros SDTV-hez megfelelő, de a nagyobb felbontáshoz vagy számítógépes progresszív képhez már nem. Nagyjából a DVD az, amit mér érdemes TV-n nézni, de már azok is jobbak. Ettől függetlenül a képminőség, fénysűrűség, színvisszaadás nem olyan rossz.

A „lapostévék” nem is tévék, hanem gyakran csak panelek. Léteznek tuner nélküliek is, de a lényeges piac az LCD ill. plazma tévék megjelenése volt, ezek laposak, könnyen falra szerelhetők (bár ezek is nehezek), sokkal jobb képminőséget adnak megfelelő műsorforrás esetén. Minden, DVD vagy annál jobb felbontású műsor, HDTV, Blu-ray csak ilyen megjelenítőn hozza ki a plusz felbontást. Ne lepődjünk meg azon, ha drága lapostévénken az analóg kábeltévén érkező adók képe rosszabb lesz, mint a régi katódsugárcsőesen, hiszen annak felbontása rosszabb, mint a készüléké. Így vagy kis képméretben nézzük, vagy teljes képernyőre nagyítjuk – utóbbi azonban minőségromlással jár. Analóg SDTV esetén 575i sorunk van, ami tulajdonképpen csak 288 valós sor, hiszen félképenként van átvitel. Egy 1080p-re képes fullHD panel majdnem négyszer annyi sort tartalmaz és a hiányzó információt számítással próbálja pótolni.

### 5.1 LCD

Az LCD képernyő pixeljei nem világítanak. Két üveglap között folyadékkristály van, amelyet egy vékonyréteg tranzisztormátrix vezérel (TFT: thinfilm transistor). A parányi tranzistor bekapcsolásakor a folyadékkristály áramlökést kap, polarizációja megváltozik (molekulák bizonyos szögben elfordulnak) és átterelik a háttérvilágítás fényét. Az RGB a fehér

háttérszín szűrésével, bizonyos összetevők blokkolásával áll elő. Intenzitás = pixel fényáteresztő képessége.



LCD működés.

Az LCD-nél lehet „utánhúzás” gyors mozgásoknál, mert a reakcióidő nem olyan jó. Idő kell a kristály elmozdításához, plazmánál nincs ilyen. Nagyobb képméret (1m átló felett) inkább plazma kell TV képhez. LCD-nél az állandó háttérvilágítás miatt nem jó a fekete, rosszabb a kontraszt. Sötét területeken nem olyan részletgazdag, mint a plazma. A kontrasztarányt különböző módon mérhetik a gyártók és ez megtévesztő lehet! Nehezen hasonlíthatók össze (pld. dinamikus kontraszt: kikapcsolt gép feketéje kontra teljes fehér kép...). Látószög LCD esetén kb. 45 fok, azon túl rossz, nagy méretnél, amit többen néznek, a plazma a jobb volt régen, mára az LCD-nek is jó a látószöge. Az LCD egész kicsiben is jó, néhány cm átlóban, a plazma nem megy le 80-90 cm alá, mert drága.

## 5.2 LED

A CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) rövidebb elnevezése a hideg katód. Laptopokban és LCD tévékben használatos megjelenítési mód, amely keveset fogyaszt, jó a szín és világosság megjelenítő képessége. A normál LCD kristályok a vezérlés hatására kb 95%-át képesek blokkolni a háttérfénynek. Ez gyakran CCFL lámpa.

A megvilágítás másik módja a LED, amely önmagában is képest fényt kibocsátani. A technológia drágább, de állítólag vékonyabb kijelzőt tesz lehetővé (Toshiba, Sony laptopok), továbbá könnyebb is lesz a konstrukció. A fogyasztás egyelőre kérdéses, egyesek azt állítják a LED kevesebbet, mások, hogy többet fogyaszt, de ez függ attól, hány LED van a gépben. Azonban minél kevesebb LED világít a háttérben, annál nehezebb azt egyenletesen eloszlatni. A gyártók szerint 30-40%-al jobb a fényessége, és a színmélység is jobb lehet, de ezeket kritikusán kell fogadnunk (ráadásul az LCD technológia fejlődése csökkentette ezeket a különbségeket). Az élettartam különbségek nem tűnnek túl nagynak, de a LED-ek hosszabb életűnek látszanak, arról nem is beszélve, hogy a CCFL eszközök az idővel veszítenek a fényességéből, a végére már csak fele olyan fényesek, míg a LED-ek egyszercsak végleg kiallszanak.

A LED-es háttérvilágítás persze csak tévék esetében újdonság, hiszen notebookoknál már egy ideje sikeresen alkalmazzák. LED-TV is kapható már, pld. a Samsungtól, ahol a vasatagság

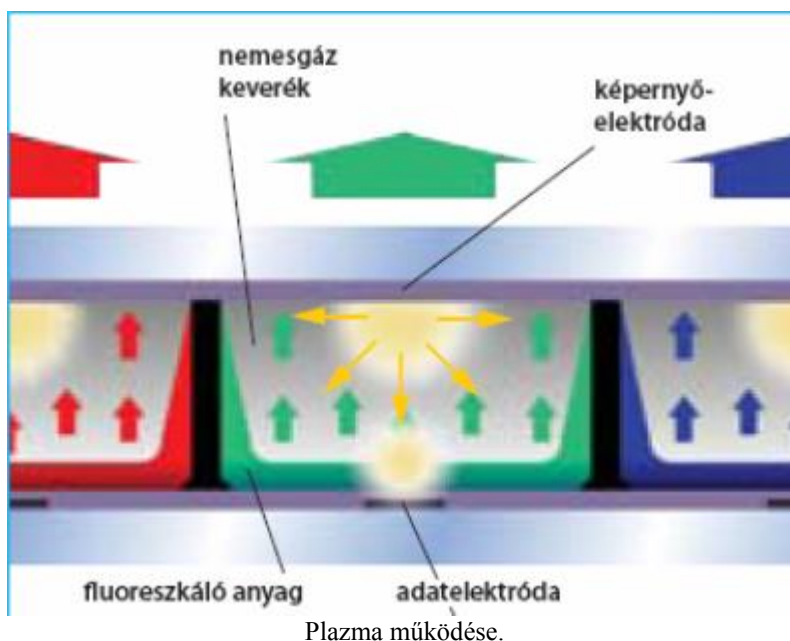
alig 3 cm, köszönhetően annak, hogy a háttérvilágítás gyanánt szolgáló LED-ek nem az LCD panel mögött, hanem a panel körül a kerethez közel kaptak helyet. Sajnos a készülék legnagyobb hátránya pont ebből fakad: a CCFL LCD készülékekhez hasonlóan a fekete nem homogén, hanem a kávéhoz közeli helyeken foltos – szerencsére filmnézés közben vagy feketétől eltérő színeknél egyáltalán nem látszik, még akkor sem, ha a kép nem tölti ki a teljes képernyőt. A szíkontraszt jó, maximum 120 wattos fogyasztás mérhető, a mozgások elmosódás nélkül jelentek meg a képernyőn. Az algoritmus természetesen interpolál.

Az már csak hab a tortán, hogy a készülék rendelkezik DVB-C/T tunerral, USB nyílással, amire merevlemezt kapcsolva megnézhetjük a fotókat, divx-xvid avi és MPEG formátumokon felül a tévé képes az MKV-ba kódolt HD filmek lejátszására is.

A jövőben több gyártótól is várható ilyen LED TV-k megjelenése.

### 5.3 Plazma

A plazma tévé korábban többet fogyasztott az LCD-nél ez ma már nem igaz, az EU tiltás alá eső készülékeket már nem gyártják. LCD-k is jól láthatók minden szögben, fényességük is majdnem eléri a plazmát, utóbbi sem ég már be évek óta, élettartamuk 50-60 ezer óra. A plazma egyedi pixelcellákból áll, nemesgázzal töltve (xenon, neon, argon). Elektromos feszültség (gerjesztés) hatására a gáz felhevül (plazma állapotba jut) és UV-fényt bocsát ki. Ez gerjeszti az RGB foszfort. A negyedik halmazállapotban az atomokról elektronok szakadnak le, az ionok és az elektronok miatt vezetővé válik. Két üveglap közé gázzal töltött cellákat helyeznek el és egy vezérlőelektródahálót.

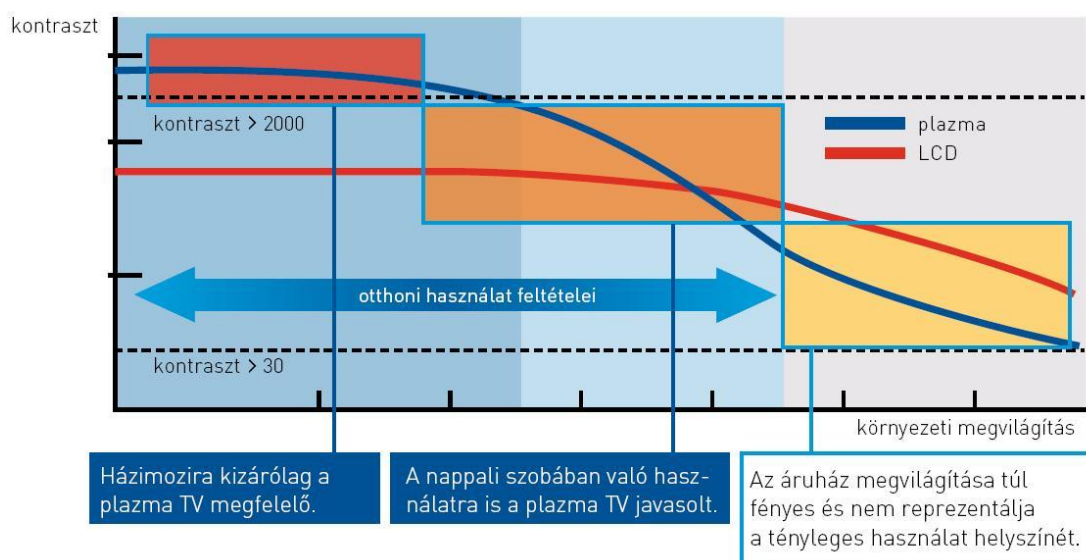


A homloküveg mögött dielektromos réteg (szigetelő) van. Alatta R, G, B színű foszforréteg, melyet a plazma gerjeszt. A videójel a plazmát gerjeszti, melynek felületi kisülése gerjeszti a foszfort. A gerjesztés más, mint egy CRT-nél, de a foszfor ugyanaz. Jobb, nagyobb kép, nincs képtorzulás, de sokat fogyaszt és drága. A plazmának van felezési ideje. Korrekciókkal ez 60 ezer óra is lehet, normál használat esetén. Ez kb. megegyezik az LCD tévével. Normál tévéműsor kb 100 Wh, filmek kb. 150 Wh fogyasztásúak 60 perc alatt. Manapság elég hatékony energiafelhasználású a plazma. Sötét kép esetén kisebb a fogyasztás, LCD-nél nem,

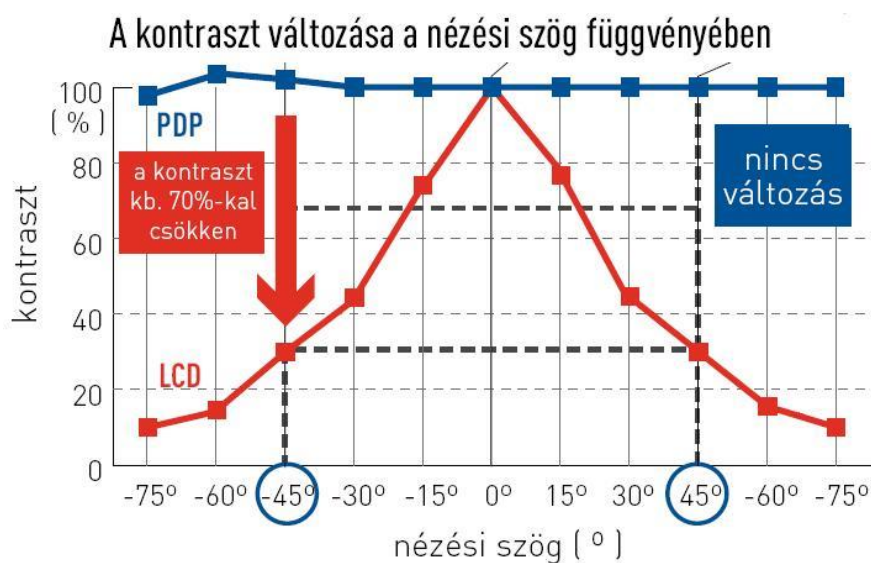
mert a háttérvilágítás állandó. Környezeti megvilágítás: a plazma a normál 150 lux körüli nappaliban jobb, az LCD a ezer luxos eladóteremben tűnik fényesebbnek és jobbnak. A kontraszt változik a megvilágítás és a nézési szög függvényében!

| Technológia                                                                        | plazma      | LCD         | LCD         | LCD        | LCD        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| <b>Energiafelhasználás (Ft-ban)</b>                                                |             |             |             |            |            |
| Áramköltség napi 253 perces üzemeléskor, 50 Ft / kWh áron (1 kWh átlagos ára)      | 28,98 Ft    | 31,13 Ft    | 28,45 Ft    | 26,05 Ft   | 27,1 Ft    |
| Éves áramköltség napi 253 perces üzemeléskor, 50 Ft / kWh áron (1 kWh átlagos ára) | 10.575.- Ft | 11.360.- Ft | 10.385.- Ft | 9.508.- Ft | 9.893.- Ft |

2008-as fogyasztási adatok.



A kontraszt változása a megvilágítás függvényében.



A kontraszt változása a nézési szög függvényében.

Ha össze akarjuk hasonlítani a két technológiát, az alábbi táblázattal megtehetjük.

|                                                                               | LCD                             | Plazma                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Síkképernyő, kis helyigény                                                    | +                               | +                                                                      |
| Kontraszt sötétben, átlagos szobában (150 lux)*                               | - (1000 körüli)                 | + (5000-10000)                                                         |
| Kontraszt nagy fényerőben (1000 lux) *                                        | +                               | -                                                                      |
| Színhűség, színmélység                                                        | +                               | + (valamivel jobb)                                                     |
| Állókép (számítógép monitor)                                                  | +                               | -                                                                      |
| Gyors mozgóképek (videó, DVD, házimozi)                                       | - (válaszidő?)                  | +                                                                      |
| Beégés nem lehetséges                                                         | +                               | -                                                                      |
| Repülön, nyomásváltozásnál nem bűg                                            | +                               | -                                                                      |
| Kis képernyőmérethez, 80 cm alatt is néhány cm-ig                             | +                               | -                                                                      |
| Nagy mérethez, 100 cm átló felett                                             | -                               | +                                                                      |
| Élettartam                                                                    | +<br>(hosszabb<br>valamivel)    | -/+<br>(manapság már jó)<br>Elérheti a felezési<br>idő a 60000 órát is |
| Elektromos korrekció nem szükséges a fényerővesztés ellen, nincs felezési idő | +                               | -                                                                      |
| 24 órás üzemmódhoz                                                            | +                               | -                                                                      |
| Készülék ár                                                                   | + (olcsóbb, de<br>kisebb méret) | - (drágább, de<br>nagyobb)                                             |
| Gyártás olcsóbb, bonyolultsága kisebb                                         | -                               | +                                                                      |
| Pixelhibák okozta hiba nincs                                                  | -                               | +                                                                      |
| Fogyasztás (100-150 Wh)                                                       | + (állandó)                     | -/+<br>(képtartalomfüggő,<br>változó)                                  |
| HDTV és fullHD felbontás                                                      | +                               | +                                                                      |
| Látószög                                                                      | - (max 45 fok)                  | + (150 fok felett is)                                                  |
| Működési költség/év                                                           | 25 Ft/óra                       | 25 Ft/óra                                                              |

\*A kontraszt mérése eltérő a gyártóknál, zavaró és nem összehasonlítható.

A kontraszt függ a látószögtől és a megvilágítástól is.

Az LCD tökéletes a sok állóképet tartalmazó számítógépes monitorok számára. Nem tudnak beégni. Jó felbontás, tiszta éles színek, de a fényerő nem tökéletes és szemből látszik igazán jól (videóalkalmazáshoz kérdéses). 1 méter alatti átmérőnél ajánlott.

A plazma nem szereti az állóképet, remeghetnek és be is éghet. Mozgóképhez ez a jobb (TV, DVD) és a videóeditáláshoz is (bár manapság egyre jobb válaszidejű LCD monitorok vannak). A gáz nagy magasságban megváltozik (bűg) ezért repülön csak LCD lehet. Egy méter felett inkább a plazmáé a piac.

## 5.4 Egyéb megjelenítők

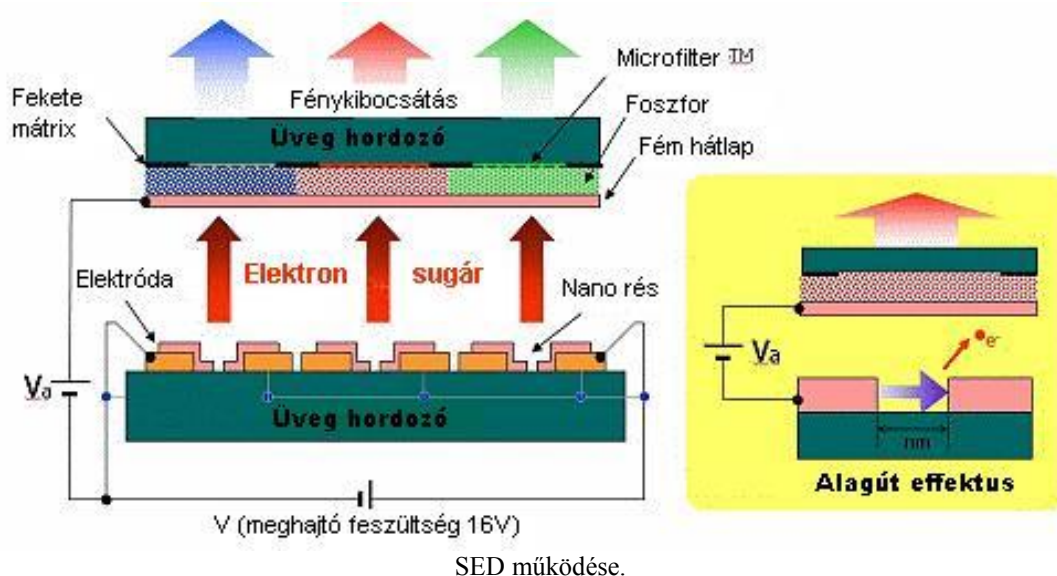
A fenti három vezető technológia mellett vannak egyéb megjelenítők is. A legfontosabbak a *projektorok*, amely ára versenyképes a nagy lapostévékkel. Ma már fullHD felbontású projektor is kapható, de igencsak borsos áron. Jellemzőjük, hogy kicsik, könnyen szállíthatók, de hangosak, melegednek és nincs bennük tuner. Viszont szinte tetszőleges műsorforrással megbirkóznak hatalmas képméret mellett. Az első, régebbi típusok LCD projektorok voltak, mára elterjedtek a DLP-elvűek is (Digital Light Processing). A DLP alapja egy pixel-méretű tükör. A tükör fényvisszaverését digitálisan változtatni lehet annak tengelyből történő kimozdításával, amit elektronikus úton, a vezérlő jel segítségével érnek el. Közvetlenül alkalmasak digitális videojelek fogadására, és kevésbé érzékenyek a környezeti hatásokra (pl. hő). A szint egy forgó színtárcsa állítja be, a fényerősséget a tükör elfordítása.

A fényerősség (ANSI Lumen) nagyon fontos, csak teljes sötétben jön elő a projektor előnye. A legjobb képminőség a DLP projektor fehér vászonon. Az LCD erősen pixeles lehet, és ha beég, az egész panel cserélhető csak.

Létezik már fél gyufásdoboznyi projektor is. Vagy a szemüvegbe épített kijelző, pár cm<sup>2</sup>-es kép a szemhez közel olyan jó, mint a 100 centis tévét néznénk 2 méterről.

A *SED* (Surface-conduction Electron-emitter Display) vékony, nagyképernyős CRT tévé, ahol képelemenként pixelméretű elektronforrás adja a gerjesztést, nem pedig eltérített elektornsugár. Canon és Toshiba közös fejlesztés 1996 óta, állítólag jobb a képe az LCD-nél:

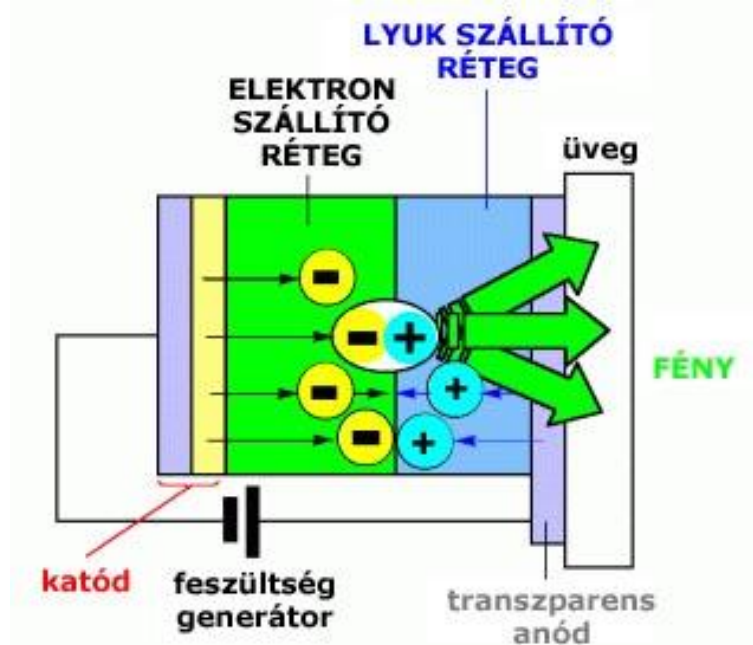
- Láthatósági szög
- Színelőállítási képesség
- Kontrasztarány sötétben 8500:1
- Képernyő pixelfrissítés azonos a CRT-vel, gyors válaszidő
- Alacsony fogyasztás



Sokkal nagyobb méretű lehet, mint a hagyományos CRT, 90-120 cm képátló: 1920x1080 full HD panelek is vannak. Az ár kb. a plazma és LCD tévék árával egyezik meg. Hátrány: lehet hogy elkésztett a technológia, új igényekhez nem biztos hogy passzol (mobil alkalmazás).

Az *OLED* (Organic Light Emitting Diode) nagyon drága. Szerves anyagból, mely feszültség hatására világít. LG, SONY kísérlet. Pixel-mátrix vezérlés (aktív TFT). Előnyök: a

legvékonyabb és legkönnyebb panel, 2-10 V DC, nagy látószög, full HD, nincs mérhető reakcióidő, olcsó, 1:1 000 000 kontrasztarány.



OLED működése.

Egyéb apróhír értékű megoldások a *FED* (Field Effect Display), amely jó képet, kevés fogyasztást ígér. A JVC ún. *HD-ILA* mikrokijelzős megoldással foglalkozik. Ez „projektoros LCD”, vékony, már most képes az 1920\*1080-ra, azaz full HDTV-re és ez növelhető is.

## 5.5 Digitális képfelvevők és rendszerek

A digitális technika a képstúdiókban is ott van. Amennyiben a dolgot a képfelvevőknél kezdjük, azonnal meg kell különböztetnünk a képcsöves ill. a CCD-s kamerákat. Egy kamera áll az

- optikából, amely egy megfelelő lencserendszer (különböző nagyítással, látószöggel, zoom képességekkel stb.),
- a képtárolóból (amely az „analóg látványt” elektromos jellé alakítja) ill.
- a rögzítőből (ez általában valami mágnesszalagos egység vagy manapság félvezető memória).

A képtechnika alapjaiban már megismerkedtünk a katódsugárcsöves felvevővel (vidikon cső). Ebben az esetben az optikán áthaladó kép egy fényérzékeny lemezre képeződik le kétdimenzióban. Ezt a fényérzékeny réteget úgy képzelhetjük el, mint pixelenkénti fényérzékeny ellenállást: minden pixelhez tartozó ellenállás változtatja értékét a ráeső fény mennyiség függvényében. Egy ilyen elemi cella egy párhuzamos RC-tagnak modellezhető, amelyben R a fényérzékeny ellenállás. Az átalakítás során egy pásztázó elektronsugár a mágneses eltérítések segítségével letapogatja ezeket a pixeleket. Ennek során feltölti a „kondenzátorokat” katódpotenciálra, majd fény hatására az R változó módon lesz vezetőképes és süti ki ezt a vele párhuzamosan kapcsolt kondenzátort. Minél több töltést süt ki belőle, annál több katódáramra lesz szükség annak újbóli feltöltéséhez - az eközben kifolyó áram pedig arányos lesz a világosság információval. Ezt pixelenként elvégezve, egy sorba rendezve egy munkaellenálláson átfolytatva kapjuk a videójelet. Ha a kamera színes, ugyanez

a helyzet csak háromszor: külön cső szolgál az R, G és B jelek számára, melyeket egyszerű színszűrővel állítunk elő.

CCD esetén a helyzet más. A CCD töltéscsatolt eszközt jelent. Ez tulajdonképpen egy analóg shift-regiszter, amely elektromos töltést képes vezérlő feszültség hatására léptetni egymás után következő lépcsőkön (kapacitásokon) át egy órajel ütemére. Alkalmas párhuzamos (2D) jelek sorossá tételére. Az órajel ütemére az egyes kapacitások odébb léptetik, átadják töltésüket a szomszédnak. Itt is van egy fényérzékeny réteg, és egy átviteli réteg (ez maga a CCD). A fényérzékeny réteg pedig maga a kapacitások hálózata (néha dióda modellként is találkozhatunk vele). Amikor fény éri ezt a réteget, ezek a kis kapacitások a fényintenzitással arányosan töltést halmoznak fel. Ezután következik azok léptetése a szomszédokon keresztül, majd egy megfelelő töltéserősítő feszültséggé váltja azokat, amelyeket további lépések követnek. Egy CCD-s eszközöknél egy lapka van, amelyenél Y-információ minden pixelhez begyűjtésre kerül, de a színinformáció kb. ennek harmada. A 3CCD-s eszközöknél színszűrővel választják szét az RGB alapképekre a beérkező képet és mindegyik azonos felbontással kerül feldolgozásra, így a felbontása is jobb, sőt, az érzékenysége is. Létezik a CCD mellett CMOS alapú érzékelő is.

A stúdiókban két nagy professzionális rendszerrel találkozunk általában. Az egyik a Sony-családja a Betacam és annak verziói; a másik a Panasonic család, a DVCPRO rendszer.

A (sima) Betacam mellett létezik a Betacam SP és a DigiBeta, melyek hasonló kazettát használnak, de más formátumban. Az eredeti 1982-es analóg formátum komponens videót rögzített: Y-t az egyik sávon, a másik sávon pedig felváltva R-Y ill. B-Y jelet tömörített időosztásos (CTDM) elven. Ez lehetővé tette a 300-soros stúdióminőséget Y esetére és 120 sort színekülönbségi jelekre (ezzel szemben a VHS kb. 30 sort tud csak!). A formátumot ne keverjük össze a konzum Betamax rendszerrel, amely rosszabb minőségű kompozit jelet rögzít.

A Beta SP 1986-ban készült el, mely 340 soros felbontású volt és a kazetta mérete is megnőtt, így a felvételek 90 percesre duzzadtak, remek minőségben metál szalag esetén. Sok TV-nek ez volt a szabványos formátuma a kilencvenes években.

A DigiBeta 1993-tól létezik, amely az analóg betákat túlszárnyalja, de olcsóbb a D1-es formátumnál. DCT-tömörített komponens videót rögzít 10-biten 4:2:2 YUV formátumban, 720\*576 PAL felbontásban (90 Mbps), plusz négycsatornás 48 kHz/20 bites PCM hangot. Van koaxiális digitális kimenet is.

A Beta SX a Beta SP digitális verziója, a DigiBeta olcsóbb alternatívája. MPEG 4:2:2 @ML képet rögzít (18 Mbps kb., IBIBIBIB... struktúrában).

Létezik már HD-formátum is: HDCAM és a HDCAM SR. 1080i esetén 1440\*1080 felbontású képet kínál (nem négyzetes pixelekkal), 144 Mbps mellett. Az SR verzió képes 4:4:4 felbontásra, 440-880 Mbps mellett, MPEG 4 „Studio Profile” tömörítéssel, akár 12 hangcsatornáig. Ez a HDTV technika.

A Sony a DV formátumban is jelen van: a DVCAM és a Digital8 az övék, míg a Panasonic a DVCPRO formátumot gyártja. A Digital8 nagyon hasonlít, de nem kompatibilis a miniDV-vel.

A DV rendszer DCT intraframe tömörítést használ 25 Mbps fix sebesség mellett (36 Mbps bruttó). Nagyon hasonlít a csak I-képeket tartalmazó MPEG2 ill. M-JPEG kódolásra. PAL esetén a kép 4:2:0 és 2-4 hangsávra van lehetőség. A Beta SP néha jobb minőséget szolgáltat. A Sony-féle DVCAM professzionális verziója a DV rendszernek. A kazetta ugyanaz, de 50%-al gyorsabban megy és a mágnescsík is szélesebb rajta 50%-al, ezzel csökkentve a drop-outok esélyét. Továbbá az audio sáv és a kép rögzített: editálások után sem csúszhat el.

A Panasonic DVCPRO kazettája még szélesebb csíkkal rendelkezik és van rajta analóg hangsáv is. Mindig 4:1:1 formátumot használ. Létezik a DVCPRO50 is, amely két párhuzamos DV-kodeket tartalmaz, 4:2:2 formátumot és 50 Mbps-et lehetővé téve, de

megfelelve a kapacitást. A minőség a DigiBetával egyezik meg kb. A DVCPRO HD másik neve a DVCPRO100 négy kodeket alkalmaz, 40-100 Mbps mellett.

A stúdióban gyakran találkozhatunk még az alábbi rendszerekkel:

- D1 (Sony): tömörítetlen komponens videó YUV 4:2:2, PCM hanggal. PAL felbontás 720\*576. A kazetta 94 perces. Drága rendszer volt.

- D2 (Ampex, Sony): a D1 olcsóbb fajtája, tömörítetlen képet vesz fel, de kompozit videót, így TV-knek jó lehet. Négycsatornás hang lehetséges. Nem nagyon létezik már a formátum.

- D3 (Panasonic): a D2 formátum versenytársa, tömörítetlen kép és négycsatornás hang rögzíthető.

- D5 (Panasonic) a D3 utódja, HD formátumban, 10-bites képfelbontás a 8 bit helyett. 1080i és 720p-1080p, max 323 Mbps.

A stúdióminőség mellett a konzumelektronikában a miniDV egyeduralkodó a kis méretű házi szalagos videokamerák piacán. Voltak próbálkozások a beépített DVD-írós kamerák piacán, de ezek nem terjedtek el igazán, hisz lényegi alternatívát nem kínáltak.

Ezzel szemben a memóriák méretének és árának csökkentése lehetővé tette, hogy mozgó alkatrész nélküli (azaz merevlemezt sem tartalmazó) felvevőket készítsenek. Ezek SD-kártyát használnak rögzítésre, AVCHD (MPEG4) kép formátumban. Nem professzionális gépek, hanem a házi kamerák új generációja. Főbb jellemzőik:

- MPEG4 képtömörítés, AVCHD formátum
- SD kártyára rögzítés (akár 32-64 Mbyte-os méretben is)
- Dolby Digital 2.0 vagy akár 5.1 hang
- Rendkívül kicsi és könnyű méret
- FullHD 1080p felbontás
- Digitális és analóg kimenetek, HD szerkesztő programok
- Kiírás editálás után DVD vagy Blu-Ray lemezre Blu-ray formátumban (BDMV könyvtár)
- Nagyon alacsony fogyasztás, hosszú akkumulátor élettartam
- Kis fényképezőgép állványra szerelhetőség
- Nagyfelbontású fényképek készítése ugyanarra a kártyára
- Mozgó alkatrészek hiánya (leszámítva az optikát, zoom-olást) miatt nagy stabilitás, környezeti hatásoknak ellenállás.

A hátrányok között kell megemlítenünk, hogy a HD editálás jelenleg nem olcsó, elég komoly PC környezetet kíván, különösen a Blu-ray írás. Az SD kártyák sem olcsóak, így azokon tárolni a nagyfelbontású felvételt nem lehet. A kamerák jó része gyenge fényviszonyok mellett ill. gyors mozgásoknál rossz képminőséget szolgáltat a nagy MPEG4 tömörítés miatt.

## 6. Nagyfelbontású technika, hordozók

A digitális műsorszórás jelenlegi határa a HDTV, itt állnak meg a lehetőségek. A technológia azonban nem és nyilvánvaló, hogy előbb-utóbb túllépünk ezen is, feltehetőleg minőségben, felbontásban és szolgáltatásokban is.

A digitális technika azonban hangban és képben is nyújt már a HDTV-nél jobbat, méghozzá hordozón. Ebből mutatunk be néhányat.

### 6.1 HD hang

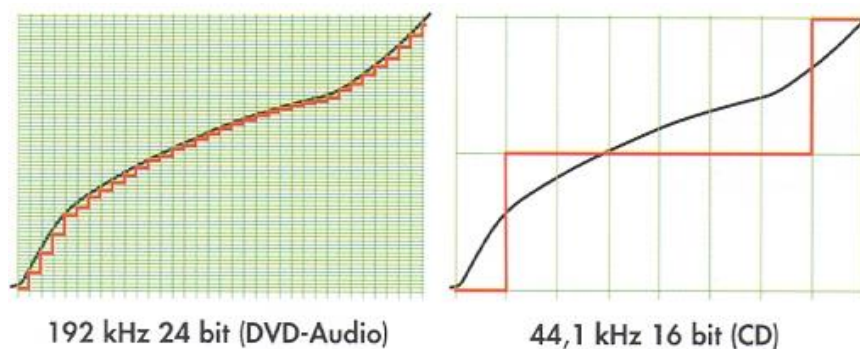
A HD-technika a hangban már régóta létezik. A hanginformáció három legfontosabb, minőségre jellemző paramétere a

- mintavételi frekvencia (vö. a sáv szélesség)
- a bitszám (vö. a dinamika tartomány)
- és a csatornák száma.

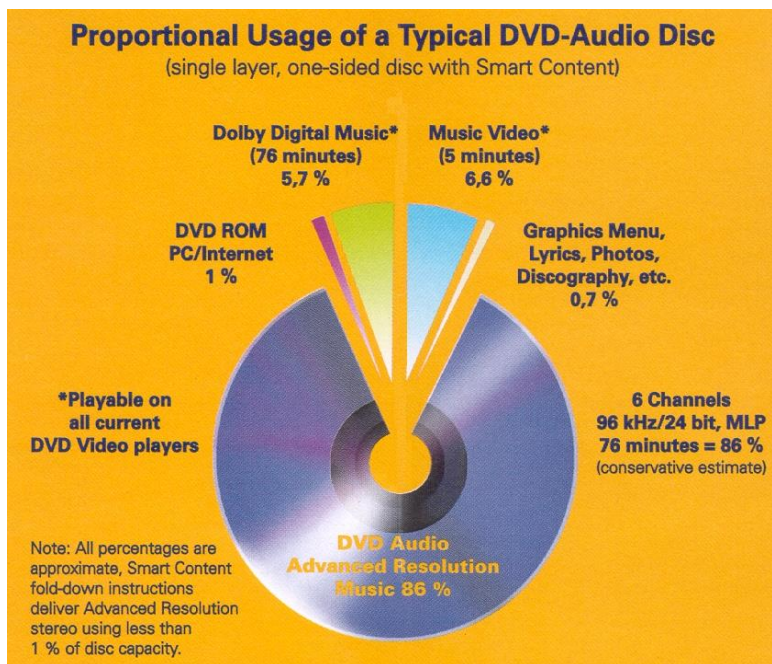
A CD lemezen, mint ismert, max. kétszörös sztereó hang rögzíthető, csatornánkénti 44100 Hz mintavételi frekvencia és 16 bites kvantálás mellett. Mivel tömörítés nincs, a nettó PCM adatsebesség  $2 \cdot 44100 \cdot 16 = 1,4$  Mbps. A probléma ezzel, hogy a 44100-hoz tartozó  $f_{mv}/2$  érték 22050 Hz, a CD szabvány pedig 20000 Hz-ig garantálja az átvitelt. Ezért rendkívül meredek szűrő kell ide (lásd korábban túlmintavételezés). Továbbá a 16 bithez elvben is csak  $16 \cdot 9 = 96$  dB dinamika tartozik, ha viszont ebből levesszük a tartalékokat, kb. 10-11 bites kihasználtság adódik, a 60 dB-es dinamika pedig a hallásnak nem optimális.

Ezért a CD rendszer igazi, HD továbbfejlesztése a PCM elvű DVD Audio, és a PCM-et elhagyó Super Audio CD.

A DVD-Audio nem ugyanaz, mint a DVD Video audio része! Utóbbi a video\_ts könyvtárban van és jellemzően veszteséges tömörítésű 5.1-es hang (DD, dts). Előbbi az audio\_ts könyvtárban van, és az ötlet annyi, hogy a nagy helyet elfoglaló képinformációt kidobják és helyére is hangot rögzítenek ugyanarra a DVD hordozóra. Itt is PCM jelek vannak, legalább 96 kHz/24 bit felbontásban, mind az 5.1 csatornára, de lehetőség van 192 kHz/24 bitre sztereóban. A rendszer veszteségmentes tömörítést alkalmaz, a hasznos átviteli sáv eléri az 50 vagy 100 kHz-et, a 24 bites dinamika pedig a tartalékokkal is lefedi a hallás legjobb képességeit.

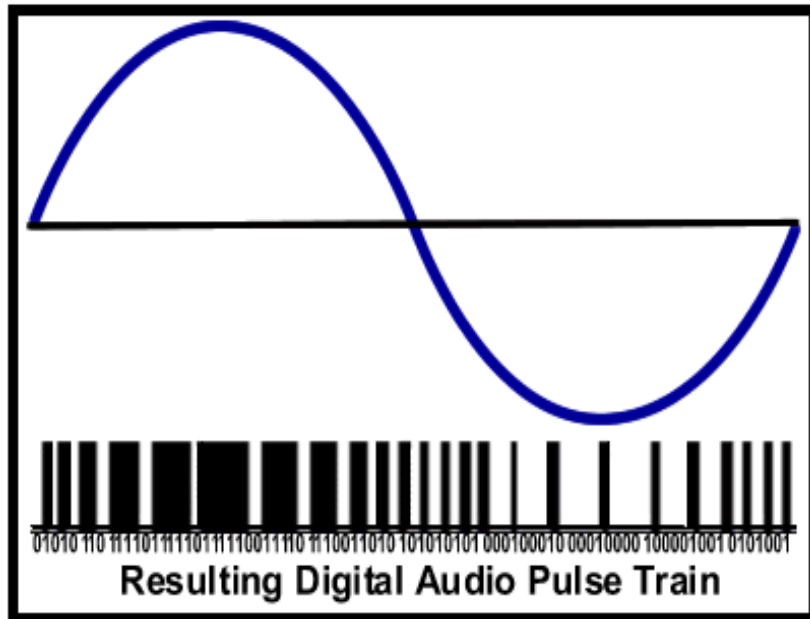


A kvantálás összehasonlítása. Látható, hogy ugyanannak az analóg hangjelnek valóságosabb képét kapjuk vissza, ha a bitszámot és ezáltal a felbontást növeljük. Egyben érthetőbb lesz, miért is nő ezzel a dinamikatartomány: a kisebb lépcsők kisebb (halkabb) változásokat is le tudnak írni.



A DVD Audio lemezek tartalmának százalékos eloszlása. A nagyfelbontású sokcsatornás hangfelvétel elviszi a lemez 86-90%-t. Ugyanez a tartalom megtalálható veszteséges DD sávban is (5%), amelyet a DVD-V lejátszók lejátszanak, csakúgy, mint a video részt.

A Sony és a Philips versenyformátuma az SACD. Az SACD szakít a megismert PCM elvvel, és ún. 1-bites AD átalakítás után közvetlenül rögzíti a jelet. Az eljárást DSD (Direct Stream Digital)-nak nevezik. Az elv, hogy jelfeldolgozásból ismert, hogy egy AD-átalakítás során a mintavételi frekvencia és a bitszám egymás rovására konstans minőség mellett átalakítható. Mivel egy bit elvételével 6 dB-t romlik a dinamika és mivel kétszeres túlmintavételezéssel ugyanennyit javul a jel/zaj viszony, egyszerre alkalmazva a kettőt, a minőség állandó marad. Kellően hatalmas mintavételezés mellett a PCM jel 1-bitesre butítható, így az már nem is lesz PCM többé, hanem maga az egybites jel hordozza az információt. A stúdiókban gyakran ilyen egybites szigma-delta átalakítók és rögzítők vannak, ezen végzik az utómunkát, majd végül lebutítják a jó minőségű adatfolyamokat 16 bites PCM mintákra a CD számára. A SACD rendszer ehelyett 5.1 csatornán a DSD jelet közvetlenül rögzíti, amihez csatornánként 2,8 MHz-es mintavételi frekvencia szükséges (64szeres túlmintavételezés). Mivel a jel egybites, a bitsebesség is ennyi, csatornánként. Az SACD is tartalmaz veszteségmenetes tömörítést, és nem is kompatibilis semmivel. A sáv szélesség itt is eléri az 50-100 kHz-et. A hordozó szokványos DVD alapanyag. Kezdetben az SACD és a DVD Audio vetélytársa voltak, de manapság kaphatók hibrid lejátszók, amik bármit lejátszanak. A DVD Audio és az SACD jelet a szokványos házimozi erősítők nem tudják dekódolni, így azt a lejátszó végzi, amelyet hat analóg kábellel kell összekötni az erősítővel (ha annak van hatcsatornás „ext.in” bemenete).



Az „1 bites” Sigma-Delta modulátor adatfolyama egy analóg szinuszhullám esetén. A digitális bitsorozaton „látszik” az analóg jel alakja (Pulse Density Modulation – pulzussűrűség moduláció elve).

Mivel a DVD hordozón egy album a fenti két formátumban megtölti a lemezt, az nem kerülhetett szóba, hogy hosszabb képinformáció (pld. egy koncert vagy hosszú film) is rajta legyen.

Ahhoz, hogy extra jó minőségű HD kép és HD hang rögzítésre kerüljön, új hordozóra van szükség.

## 6.2 HD kép

A HDTV képfelbontását már ismerjük. A fullHD elnevezés ennél jobbat takar, 1080p \* 1920 felbontást, 16:9 formátumban. Könnyen belátható, hogy ehhez nagy bitsebességre volna szükség, ill. nagyon erős tömörítésre. Az MPEG4 – bár nem erre találták ki eredetileg – alkalmas a tömörítésre. Az ilyen kép megjelenítéséhez fullHD panelra van szükség, és egy új hordozóra. A Blu-ray lemezek rétegenként 25 GB kapacitásúak, így a kétrétegű lemezre 50 GB fér rá. Ez a kapacitás lehetővé teszi a fullHD képet és a veszteségesen tömörített vagy éppen PCM hangot is. Az ismert hangformátumok, mint a Dolby vagy a dts is megalkotta a Blu-ray lemezek számára a HD hangformátumokat. Ilyen a Dolby Digital Plus, a dtsHD stb. Ezek a lemezek szinte minden film mellé választhatók, 7.1 csatornásak (de 5.1 lefelé kompatibilisek), viszont megfelelő házimozi erősítő kell, amely ezeket 7.1-ben dekódolni tudja. A kapcsolat a lejátszóval csak HDMI lehet. Különösen Blu-ray lemezen kiadott koncerteknél van ezeknek jelentősége, ott 5.1-es PCM hanggal is találkozhatunk!

|                                                                                   |  |                        |                                 |  |                        |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
|                                                                                   | Státusz                                                                           | Maximális csatornaszám | Maximális adatátviteli sebesség | Státusz                                                                             | Maximális csatornaszám | Maximális adatátviteli sebesség |
|  | Kötelezően választható                                                            | 8                      | 18 Mbit/sec                     | Opció                                                                               | 8                      | 18 Mbit/sec                     |
|  | Kötelezően választható                                                            | 6                      | 9,6 Mbit/sec                    | -                                                                                   | -                      | -                               |
|  | Kötelezően választható                                                            | 7.1                    | 3 Mbit/sec                      | Opció                                                                               | 7.1                    | 1,7 Mbit/sec                    |
|  | Opció                                                                             | 8                      | 18 Mbit/sec                     | Opció                                                                               | 8                      | 24,5 Mbit/sec                   |
|  | Opció                                                                             | 8                      | 3 Mbit/sec                      | Opció                                                                               | 8                      | 6 Mbit/sec                      |

A HD lemezek hangformátumai.

Jegyezzük meg, hogy a Blu-ray sokáig harcolt a konkurens de minőségben szinte teljesen azonos HD-DVD formátummal. Utóbbi elvesztette a formátumharcot, elsősorban kisebb tárolókapacitása miatt.

A Blu-ray lejátszók lejátszák a DVD lemezeket és a CD-ket is, a jobbak a DVD Audio és SACD lemezeket is. Létezik egyelőre csak PC-alapú Blu-ray felvevő is, amely RE, RW lemezeket képes írni. A Nero 9 verziója már támogatja a Blu-ray írást, a megfelelő könyvtárstruktúrával és írási módban elkészíthetjük saját lemezeinket (pld. AVCHD vagy digitális MPEG4 kameránkról). FullHD felbontású filmet találhatunk az interneten is, a Matroska konténerben, amelyek .mkv kiterjesztésűek. Ezek közvetlenül nem írhatók Blu-ray formátumban ki lemezre, egy egyszerű, átkódolást nem igénylő művelet után azonban igen.



A Denon DVD-A1UD, a világ első mindent lejátszó asztali készüléke.

Jogos a kérdés: merre tovább? A jelenlegi helyzet afelé mutat, hogy

- még nagyobb felbontás
  - o „4k cinema quad” üzemmód, a felbontást növeli meg
  - o Szélesvászon: a mozifilmek 2,39:1-hez, azaz 21:9 képaránnyal dolgoznak, ezért 16:9-es tévén is lesz fekete csík alul és felül. Philips: 146 cm átlójú 21:9 LCD TV, 1080p \* 2560 pixel. (Plusz: a képtartalomnak megfelelő színű és intenzitású hangulatfényt vetít a szoba falára, képes a képernyő különböző részein eltérő színárnyalatokkal dolgozni.)
- 3D TV? Már létezik prototípus, szemüveg se kell hozzá. A mozi ezzel próbálja visszacsalogatni a nézőket, de nagyon drága technika.
- Színmélység növelés. Jelenleg a „24 bites true color” = 8-8-8 bit RGB, színenként 256, összesen 16,7 millió színárnyalat. A szemünk kb. tízmilliót tud megkülönböztetni. 30 bites = 1 milliárd színtónus. Ilyenkor a képpontokkal való matematikai műveletek során nőhet a bitigény (szóhossz), kisebb lenne a kerekítési hiba és a színtorzulás ezáltal. Grafikai munkáknál akár 48 bit is alkalmazható. A szem árnyalatokat megkülönböztető képessége függ a megvilágítástól és a környező színektől, melyet 30 biten (azaz 10-10-10 biten) jobban vissza lehet adni.

### **6.3 3D technika**

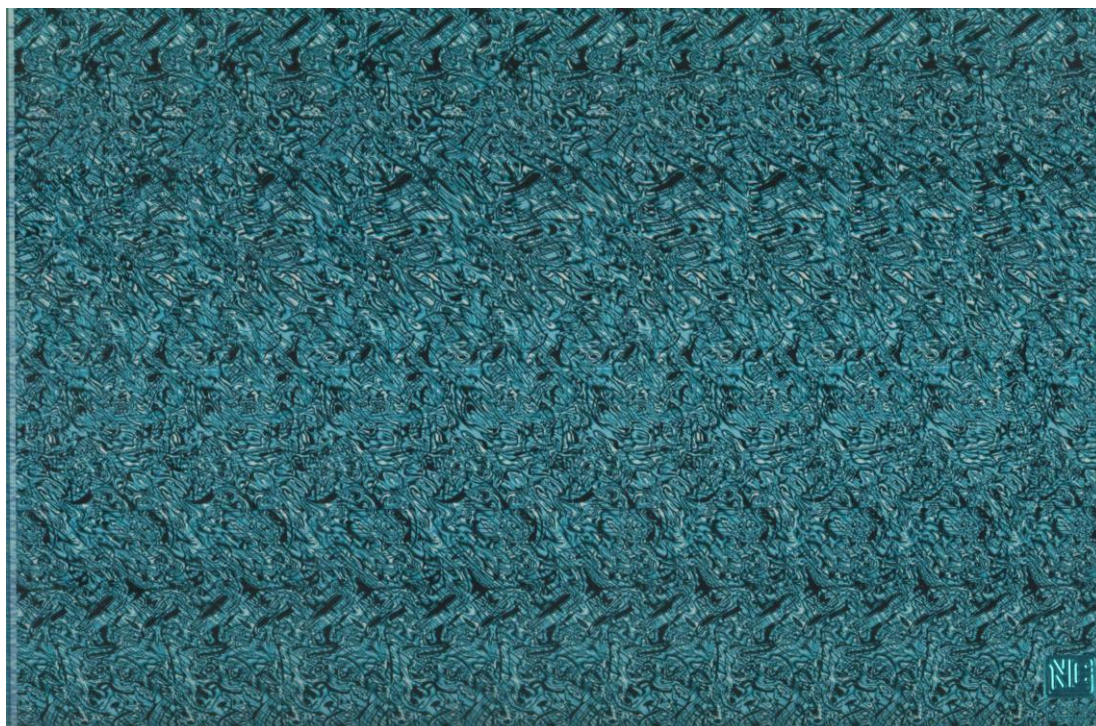
A térérzékeléshez két szem csak a viszonylag közeli tárgyak esetén szükséges, 50-100 méter felett már a tapasztalatunk, az árnyékok és a kitakarás dönti el a térbeli helyzetet. A kb. 1 méternél közelebbi esetben is működik az egyszemű térlátás de a fejet mozgatni kell hozzá és meg kell szokni (monokuláris ingerek). Ilyenkor „időben eltolva” nézzük a dolgokat más szemszögből, nem egyszerre. A sztereofotók is egymáshoz képest kicsit eltolt objektívvel készülnek. A sztereó fotózással lehetőségünk van a bázistávolság (a két szemünk közötti 6-8 cm-es táv) változtatására, bármilyen kamerával megoldható csak vízszintesen el kell mozdítani (vannak a neten ingyenes szoftverek amelyek ebből sztereó képet készítenek nekünk). A bázis távolsága lehet pár mm (rovarperspektíva), több 100 m (hegyek) vagy akár több km (űrfelvételek).

Az anaglif sztereó piros-cián vagy piros-zöld szemüveges fotók, ezt csak két szemmél lehet nézni. Anaglif esetben a bal és a jobb oldali képet egymásra vetítik, de különböző színnel. A vörös-cián szemüveg biztosítja, hogy a megfelelő kép csak a megfelelő szembe jut. Működik színes képre, de torzulással. A piros szemüvegen át nézett piros kép fehér, a cián felület feketének látszik; a másiknál fordítva. A fekete-fehér részletek nem szenvednek torzulást, a kép 3D-nak tűnik.



Anaglif sztereó kép.

A random-dot sztereogramok két azonos pont vagy képmintázat, bizonyos részei eltolva egymáshoz képest. Ezt egy szemmel nem látjuk, de binokulárisan felismerhető a kiugró „alak”. (Magic Eye könyvek autosztereó képei, ami nem mindenki képes látni). Julesz Béla találmánya. Megoldott egy fontos tudományos kérdést miszerint a sztereó mélység észlelés már jóval a formaészlelés előtt a létrejön. Olyan ingereket mutathat a kísérleti személyeknek, amelyeket azok egy szemmel nem láthatnak.



Magic-eye autosztereó kép.

Mozgó képek esetén a helyzet más. A moziban vetítéskor polarizálva vetítik ki a két szemnek a képet. A szemüveg segít abban, hogy a megfelelő szem a megfelelő képet lássa csak. A polárszűrésben nincs színszűrés, így az színhelyes marad. A film merevlemezen van, kb. 120-240 GB/film, a projektor pedig mp-ként legalább 70 képet vetít mindegyik szemnek külön egy fém felületű vászonra (amely a polarizációt nem változtatja visszaveréskor). A bal csatorna pld. függőleges, a jobb vízszintes polarizációval van kivetítve és a szemüveg csak az adottat engedi át a szem számára. Létezik ún. körkörös polarizált szemüveg, amely minden nézési pozícióban biztosítja az élményt (nem lesz szellemképes oldalról nézve sem). A Dolby3D technikában a vetítő előtt egy vörös-cián korong pörög. A jobb és a bal szem képét is vörös, kék és zöld színnel vetítik, de ezek hullámhossza a két szem számára eltérő. A szemüveg gondoskodik ezek szétválasztásáról. A számítógépes LCD technikában a szemüveglencséiben lévő LCD áteresztőképességet aktívan vezérlejük a számítógéppel. Mindig elsőtétül (gyorsan) az egyik szem képe és így a gyors változást nem érzékelve 3D képet észlelünk. Legalább 100 Hz frissítés kell, vezetékes aktív összeköttetés. A 3D tévé is hasonlóan próbálja: a bal és jobb szem képét felváltva sugározza ki és a szemüveg követi azt a szinkronizáció során kitakarva mindig az aktuálisat. Van, hogy szemenként 100-100 Hz sebességgel. Sokba kerül, kevés a tartalom (Blu-ray) és szinkronizált szemüveget kell hozzá hordani.

A szemüveg nélküli megoldásnál a kép felületére párhuzamosan futó műanyag hengerlencse sor kerül, amely nagyítja az alatta lévő képet. Több képhez több ilyen is lehet egy felületre rakni, adott irányból mindig csak az egyiket látjuk (nagy óriásplakát, ami változó képet mutat ahogy elhaladunk mellette). Vannak ilyen vastag képeslapok is, de elvben egy TFT monitorra is lehet rakni ilyen (Philips -15000 Euro).

2010-ben a nappaliban is megjelennek a 3D-megjelenítők, amelyekkel a filmrajongók hasonló élményben részesülhetnek, mint most az IMAX-mozikban. A legnagyobb tévégyártók 2010-re, a futball-világbajnokságra időzítették a 3D-tévék piacra dobását, de néhány iparági szakértő szerint korai a lelkesedés. Hatvan éve létezik a térhatású megjelenítés, de az először használt piros és kék lencsés szemüvegek gyorsan kikoptak a divatból. Használatuktól sokan rosszul lettek, és a színes szűrő rontotta a kép minőségét is. Azóta a filmipar áttért a polarizált szemüvegre, és megjelentek a szemüveg nélkül használható megjelenítők is, amik viszont csak bizonyos pontról nézve mutatnak térhatású képet. Mindegyik technológia azt használja ki, hogy a szemeink körülbelül 7-8 centiméterre vannak egymástól, és más perspektívából látják a világot. Az agy összefüzi a két képet, és kiszámolja a tárgyak távolságát. A 3D-s technológiák pedig megpróbálnak eltérő képet sugározni a jobb és a bal szembe, hogy az agyunk térbelinek érezze a műsort.



3D kamerák a foci vében.

A filmipar mielőbb szeretné bevezetni a 3D-t, mert ez ad igazi értelmet a blu-ray technológiának - a térhatású megjelenítés nagyjából ötször több adatot igényel, mint egy sima DVD. A nagy tévégyártók pedig mind a 2010-es futball-vb-re készülnek, hiszen a sportesemények fellendítik az eladásokat. A Sony meg már 3D-ben rögzít huszonöt meccset, tehát lesz mit nézni.

Magyarországon is sok cég foglalkozik 3D-s technológiákkal, és a téma december elején került ismét elő, amikor az iPont nevű cég elnyerte a hatvan multimédiás fejlesztőcéget tömörítő MM Klaszter innovációs díját. Amíg a világ vezető 3D-s cégei inkább az otthoni felhasználókra koncentrálnak, addig az iPont egy szűkebb piacra, üzleti felhasználóknak készít szoftvereket, és a reklámiparban akar részesedést szerezni.

Az iPont a kép és a térhatás minőségét próbálja javítani, mert ez a legfontosabb a reklámiparban. A cég egyedi kódolást és saját fájlformátumot használ, kifejlesztett lejátszókat és konvertereket, amelyek ismert szoftverek fájljait alakítják át a saját formátumukra. Vannak tartalomkészítő szoftvereik, amikkel tananyagokat, reklámfilmeket lehet készíteni. Korcsok Zoltán, a cég igazgatója elmondta, hogy az MM Klaszter tagjaival több projektet szeretnének elindítani, köztük 3D-s IPTV-vel kapcsolatos fejlesztéseket.

Nem ők az egyetlenek, és nem is az elsők, akik 3D-s tartalmakat készítenek. A Visual Dynamo építette fel az ipolytarnóci 4D mozit, ahol a 3D-s filmek nézése közben még a székek is minden irányba mozognak, így még nagyobb élményben részesülnek a látogatók, hiszen ha az ülés a padló felé fordul, valóban úgy érezhetik, hogy lezuhannak az eléjük vetített kilométeres szakadékba.

A Holografika fejlesztette ki a legprofibb 3D-megjelenítőt, amely szemüveg nélkül jeleníti meg a térhatású képet. A HoloVizio technológia lehetővé teszi, hogy a nézők szabadon mozoghassanak a kijelző előtt, és mindig térhatású képet lássanak. Ez a technológia már 2006-ban nemzetközi sikert ért el, amikor elnyerte a Világgazdasági Fórum Technology Pioneer díját. A Holografika szerint az emberek nem fogják elfogadni a kompromisszumos 3D-s megoldásokat, és nagyjából öt év múlva lesz a 3D-s műsorok olyan jó minőségűek, mint a jelenlegi 2D-s műsorok.

Sem az otthoni szemüveges, sem a 3D-szerű, 2D-ből konvertált megoldások, illetve a több pontból szemüveg nélkül nézhető rendszerek (amelyek csak 5-8 konkrét helyen nyújtanak 3D-s hatást) nem fognak beválni, mondta Dobrányi Zsuzsa. Egész más egy 3D-s reklámot nézni 15-30 másodpercig, mint egy játékfilmet vagy sportközvetítést órákon át, ahol a szemet és az agyat egyaránt kifárasztja, ha a kép nem természetes és valódi 3D, hanem csak egy optikai trükk segítségével előállított 3D-szerű látvány.

## **7. Kiegészítések**

Szabványok, szervezeti felépítés, nemzetközi és hazai szabályok, törvények.  
(Később)

## **8. Laboratóriumi mérések témakörei**

### ***8.1 Teletext vizsgálata***

TV labor

### ***8.2 DVB-T mérés***

C.ép. 7. emelet

### ***8.3 Képtechnikai alapok***

JPEG és MPEG tömörítések, mozgásbecslés.

## 9. Irodalom

- [1] <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/DMJ.pdf>
  - [2] Walter Fischer: A digitális műsorszórás alapjai. Typotex kiadó, 2005.
  - [3] Standeisky István: Digitális TV műsorszórás, SZE jegyzet.
  - [1] Jákó Péter: A digitális rádiózás. Typotex kiadó, 2010.
- [http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/TV\\_jegyzet.zip](http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/TV_jegyzet.zip)

Ajánlott irodalom:

- [1] Jákó Péter: Digitális hangtechnika. Kossuth kiadó, 2002.
- [2] Norbert Hesselmann. Digitális jelfeldolgozás. Műszaki könyvkiadó, 1985.
- [3] Hazay István: A digitális televíziózás. ORTT AKI, Budapest, 2005.
- [4] Paul Dambacher: Digital Terrestrial Television Broadcasting: Designs, Systems and Operation, Springer Verlag, 1998.
- [5] Takács Ferenc: Hangstúdiótechnika. Műegyetemi kiadó, 2004.
- [6] CableWorld újságok: [www.cableworld.eu](http://www.cableworld.eu)
- [7] Székely Vladimir: Képfeldolgozás. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2003. 134 p.