

A digitális földfelszíni műsorszórás forráskódolási és csatornakódolási eljárásai

LOIS LÁSZLÓ, SEBESTYÉN ÁKOS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
{lois, sebestyen}@hit.bme.hu

Kulcsszavak: digitális műsorszórás, DVB-T, DVB-H, forrás- és csatornakódolás, moduláció, MPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 AVC

Majdnem tíz évvel a magyarországi digitális földfelszíni televíziós szolgáltatás (DVB-T) kísérleti sugárzásának beindítása után tavaly december 1-én végre hivatalosan is beköszöntött a földfelszíni platformon a digitális korszak: igaz, egyelőre csak három adóközvetben és 66 százalékos országos lefedettséggel, de elindult a hivatalos műsorszórás.

1. Bevezetés

Jelen cikkünkben bemutatjuk azokat a technológiákat, amelyek lehetővé teszik a digitális átállást, azaz ismeretjük az alkalmazott forráskódolási, illetve csatornakódolási és modulációs megoldásokat. Természetesen területi korlátok miatt kizárólag áttekintő jellegű leírást adhatunk, minden részletre nem térünk és nem is térhetünk ki. Célunk, hogy az olvasó megismerje a forrás- és csatornakódolás alapvető elveit, valamint azt, hogy az egyes kódolási lépések alkalmazásának melyek a műszaki mozgatórugói. Ezen túlmenően nem kívánunk állást foglalni abban sem, hogy vajon az alkalmazott forráskódolás és képformátum a digitális földfelszíni platform „küldetése” és céljai szempontjából megfelelő-e.

Cikkünk első része a kép és hang kódolásának módjával, a kép, a hang és a járulékos adatok nyalábolásával (multiplexálásával) foglalkozik. A második rész a hagyományos és a kézi készülékekre szánt digitális földfelszíni televíziós szolgáltatás csatornakódolási és modulációs lépéseit részletezi, végezetül pedig bemutatjuk a szolgáltatás műszaki paramétereit, a lefedettséget és a programok vételéhez szükséges jelátalakító készülékeket (az úgynevezett set-top-boxokat).

2. Forráskódolás és nyalábolás

A digitális műsorszórás a kép-, illetve hangjeleket digitális formában továbbítja, azaz az átvendő adatoknak digitális formában kell rendelkezésre állniuk. Ha a digitális kép-, illetve hangjeleket közvetlenül a mintavételezést követően, mindenféle egyéb feldolgozási lépés nélkül vinnénk át, akkor a továbbításra szolgáló csatornának meglehetősen nagy kapacitásúnak kellene lennie. Egy másodpercnyi, adott módon mintavételezett világosságjel és két színskülönbségi jel által alkotott, normál felbontású – jellemzően 720x576 képpontos – videoanyag mérete körülbelül 216 megabit, a CD-minőségű, kétcsatornás hanganyagé pedig 1,5 megabit. Mindez tehát azt jelenti, hogy a kép- és hanganyagot tömöríteni kell, úgy-

nevezett forráskódolásnak kell alávetni. A forráskódolás általában veszteséges és veszteségmentes kódolási lépésekből álló folyamat, melynek célja a forrásban megtalálható, az emberi érzékelés számára jelentőséggel nem bíró elemek eltüntetése, valamint a redundáns információ hatékonyabb, tömörebb tárolása.

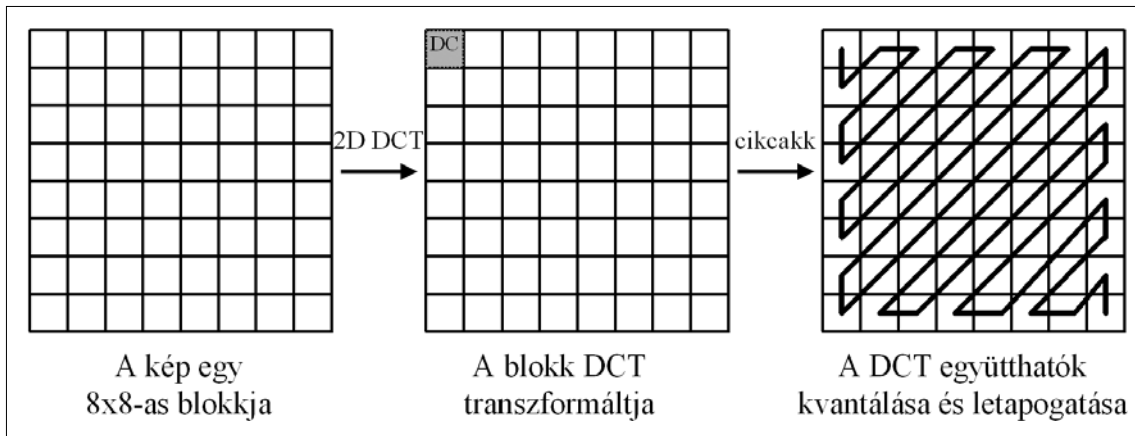
A forráskódolt kép- és hanganyag azonban még mindig nem alkalmas a csatornán történő átvitelre; a kép, a hangot, a megfelelő dekódoláshoz szükséges járulékos információkat, valamint a képhez és a hanghoz kapcsolódó egyéb tartalmat (például feliratot) olyan módon kell „elegyíteni” egymással, hogy a vevőoldalon a lejátszás megakadástól mentes legyen, illetve az átviteli lánc késleltetése se legyen túlságosan nagy.

A jelen fejezetben a földfelszíni digitális műsorszórásban jellemzően használt forráskódolási megoldásokat mutatjuk be, illetve röviden ismertetjük, hogy a forráskódolt kép, hang és járulékos információkból milyen módon lehet továbbításra alkalmas adatfolyamot kialakítani.

2.1. Mozgóképkódolási megoldások

A képek veszteség nélküli tömörítése helyett sokkal nagyobb tömörítési arányra képesek a veszteséges képtömörítők (20-30-szoros tömörítés egyetlen állóképre), de ekkor a visszaállított kép már valamennyire különbözik az eredetitől. Mozgóképek továbbítása esetén a tömörítés gyorsasága és a csatornahibára való érzékenység is fontos tényező a képminőség mellett.

Önálló képek veszteséges tömörítése azért lehet hatékony, mert a szomszédos képpontok között az eltérés várhatóan kicsi, hiszen egy kép többnyire közel azonos színű területekből és ezek közötti zajszerű élekből áll. A kép e jellegzetessége a frekvenciatartományba transzformálva használható ki: a lassú változás kis, a gyorsabb pedig nagyobb frekvenciának felel meg, ezért a transzformált jel többnyire kis frekvenciájú komponenseket tartalmaz. Mivel az emberi látórendszer a nagyobb frekvenciájú jelek esetén kevésbé érzékeny a torzításra (nagyobb veszteséget tűr el), a frekvenciatartományban könnyen kezelhető a frekvenciától függő veszteség. Mozgóképek esetén a képpontok között már



1. ábra
DCT alapú
képkódolásnál
a 2D DCT
művelet
és a további
kódolási
lépések

nemcsak térbeli, hanem az egymást követő képek között időbeli kapcsolat is van, ami tömörítésre szintén jól felhasználható.

A transzformációs módszerek legjellegzetesebb képviselője a JPEG (Joint Photographic Experts Group) és MPEG (Moving Pictures Experts Group) szabványokban is alkalmazott kétdimenziós (2D) diszkrét koszinusz transzformáció (DCT). A JPEG DCT alapú képkódolásának [1] lényege, hogy a képet 8x8-as blokkokra bontja és az egyes blokkokhoz – lényegében egymástól függetlenül – kétdimenziós DCT alkalmazásával egy szintén 8x8-as frekvenciatarománybeli transzformált jelet állít elő. Ezt a 64 darab DCT együtthatót kódolja a JPEG kvantálással és entrópiakódolással. A DC együttható tartalmazza a 8x8-as blokk átlagát, ezeket blokkról blokkra differenciálisan kódoljuk, míg a több DCT együtthatót blokkon belül kódoljuk futamhossz- és Huffman-kódolással (1. ábra).

2.1.1. MPEG-2 videó kódolás

Az MPEG-2 videokódolási szabvány [2] esetén már nemcsak képeket, hanem folytonos és egymással összefüggő képek sorozatát kell kódolni úgy, hogy a képek váltott soros mintavételezésűek is lehetnek.

Az MPEG-1 és MPEG-2 esetén a folytonos képsorozatot egymás utáni képekből álló képcsoportokra osztjuk. Az egyes képek tovább particionálhatók szeletekre, makroblokkokra, végül pedig blokkokra.

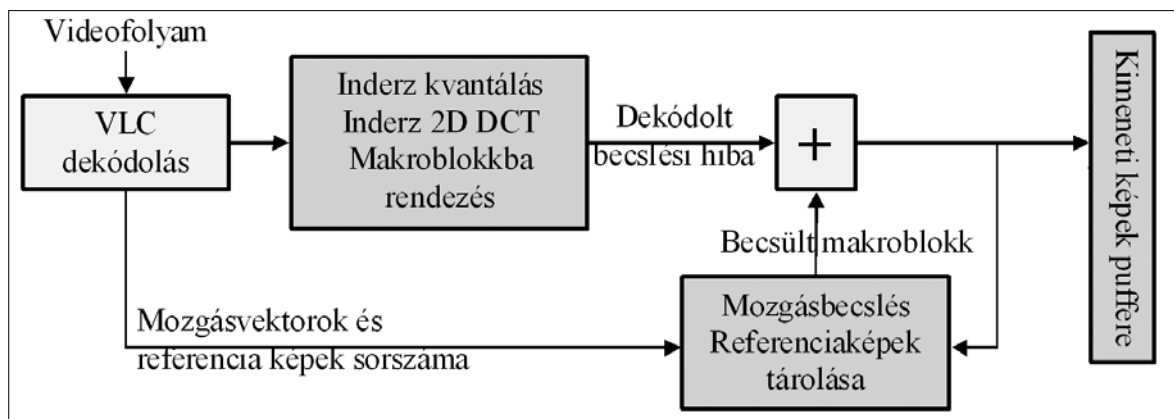
A képcsoport megfelelő dekódolásához feltétlenül szükség van egy önmagában kódolt (úgynevezett intra kódolású) képre. Az intra kódolású kép vagy félkép fel-

dolgozása az előzőekben röviden ismertetett DCT alapú képkódoláson alapul. Az *intra* képek mellett beszélhetünk még képek közötti mozgásbecsléssel kódolt *prediktív képekről* is.

Az ilyen jellegű képek esetén azt használjuk ki, hogy az egymás követő képkockák közti különbség a legtöbb esetben kellően kicsiny ahhoz, hogy bizonyos képrészletek a két szomszédos képen belül tartalmilag megegyezzenek egymással, azaz az egyik kép a másik képből kis hibával becsülhető lesz. Amennyiben a becslés kielégítő, úgy a becslés hibája elenyésző lesz. Ha tehát az eredeti képek helyett a becslés hibáját kódoljuk, akkor nagy valószínűséggel jó tömörítési arányt érhetünk el.

A becslés egysége MPEG-2 videónál a *makroblokk*, amely a világosságjelen 16x16-os területet jelent, vagyis a világosságjelen 4 db 8x8-as blokk alkot egy makroblokkot. Mivel a színkülönbségi jelek mintavétele eltér a világosságjelétől, ezért a makroblokk színkülönbségi része lehet 8x8-as vagy 8x16-os is. A becslés eredménye tehát egyrészt egy úgynevezett mozgásvektor, amely a vizsgált makroblokknak a referenciaképen szereplő eredetihez képesti vízszintes és függőleges eltérést adja meg, másrészt pedig egy becslési hiba, mely hatékonyan tömöríthető.

Képcsoport szinten háromféle képtípus létezik. A már említett *I (intra)* típusú kép önmagában kódolt, a dekódolásához szükséges minden adatot tartalmaz. A *P típusú* képek prediktíven kódoltak, referenciájuk egy előző *I* vagy *P* kép (csak múltbeli referencia) lehet, a *B típusú* képek szintén prediktíven kódoltak, ám a predik-



2. ábra
Az MPEG-2
videó-
dekódoló
elvi
felépítése

ció itt múltbeli és jövőbeli I, illetve P típusú képen is alapulhat. A P és a B képek jobban tömöríthetők, ám a képsorozatban időről időre kevésbé tömörített, I típusú képeket is feltétlenül el kell helyezni, hiszen átviteli hiba esetén ezek segítségével lehet a dekódolást újraindítani, illetve ezek segítségével lehet a videoanyagban előre-hátra lépkedni.

Az MPEG-2 videó képes váltott soros képsorozatok kezelése is, mert tartalmaz a kép (frame) és a félkép (field) alapú feldolgozást is. Félképes videó kódolásakor a képen belül lévő két félképet egy egységként is lehet kódolni, de lehet a félképeket egymástól függetlenül is kezelni.

A maximális képméret, maximális képváltási frekvencia, maximális bitsebesség, a váltott soros letapogatás szükségessége, a színmintavételezés módja mindmind olyan paraméter, amely alkalmazási területenként eltérő beállítást igényel. (Értelmetlen például egy mobiltelefon kifelbontású kijelzőjéhez HDTV minőségű videódekódolót illeszteni.) Ennek megfelelően az MPEG-2 rendszerben profilokra és szintekre osztott skálázási lehetőséget hoztak létre, ahol a profil a szintaxist (alkalmazható képfarmátumot, képtípust, kódolási eszközöket stb.) definiálja, míg a szint a paraméterek (képméret, képváltási frekvencia, bitsebesség) korlátait adja meg.

Az MPEG-2-ben lévő szintek az alábbiak:

- Low Level: videokonferencia rendszerek
- Main Level: „normál felbontású” műsorszórás
- Stúdiótechnikai profilhoz tartozó szint: 422P@ML
- HDTV műsorszórás: High Level, High-1440 Level

2.1.2. MPEG-4 AVC

Az MPEG-4 Part 10. Advanced Video Coding (AVC) [5] az MPEG-4 szabványon belül is egy jellegzetesen elkülönülő rész, amely nagyrészt a korábbi MPEG-1 és MPEG-2 videokódolási szabványok továbbfejlesztését jelenti.

Az AVC az MPEG-2 szabványban megadott algoritmus elvét követi, de az új tudományos eredményeknek megfelelően a nagyobb tömörítési hatékonyság érdekében módosították és kiegészítették a részegységeket. A módosítás és kiegészítés eredménye az lett, hogy a kódolási hatékonyság lényegében 1,5-2-szeresére javult.

A dekódolás struktúrája lényegében megfelel a 2. ábra tartalmának, a fontosabb módosítások és kiegészítések a következők:

- A transzformáció nemcsak 8x8-as lehet, hanem 4x4-es is. Mindkét esetben a DCT-hez hasonló (de azzal nem egyenértékű) transzformációt alkalmaznak, amely egész értékű együtthatókat tartalmaz, ezért kisebb a számítási igény és pontosabb az ábrázolás.

- A makroblokk mérete itt is 16x16-os, de ezen belül a felosztás mozgásbecslés esetén a képtartalom függvényében dinamikusan változtatható: a makroblokk felosztható 8x16, 16x8 és 8x8 méretű részekre, sőt minden 8x8-as rész tovább osztható 4x8, 8x4 vagy 4x4 részekre is. Minden ilyen résznek saját mozgásvektora és

referenciaképe is lehet, amivel a mozgásbecslés pontosabbá és hatékonyabbá válik.

- A mozgásbecslés pontosabban megadható: az elmozdulás pontossága az MPEG-2 szabványban megengedett fél képponttal szemben 1/4 képpont lehet, emellett több referenciakép közül is lehet választani. Ennek megfelelően kettőnél több referenciaképet is ki lehet jelölni egy kép kódolásához.

- Intra-kódolás esetén képen belüli becslés is alkalmazható: a becslés alapjául az egyes makroblokkokkal szomszédos és már előzőleg dekódolt képpontok szolgálnak. A becslés vagy 16x16-os méretben, vagy pedig makroblokkon belül 4x4-es méretben történik.

- Entrópiakódolásként (veszteségmentes kódolásként) a Huffman kódolásnál sok esetben hatékonyabb bináris aritmetikai kódolás is használható.

- A dekódolás után a kapott képen a blokk- és makroblokkhatárokon blokkosodás elleni szűrést lehet végezni, ami tovább javítja a dekódolt kép minőségét.

A fenti lépések mindegyike lényegében jobb képminőséget és alacsonyabb bitsebességet eredményez, összességében pedig már jelentős a tömörítési arány javulása az MPEG-2 videóhoz képest. Azonban a sokkal több lehetőség sokkal több döntést és számítást igényel, amivel a kódolási komplexitás is megnövekedik.

Az AVC és MPEG-2 videokódolás között még fontos különbség, hogy az AVC esetében lényegében sem a képcsoport, sem pedig a kép nem jelenik meg közvetlenül. Ezek helyett a képszeletre helyeződik a hangsúly. Előfordulhat, hogy egy képhez mind I, mind P, mind pedig B típusú képszelet tartozik. Ezen intézkedések a bitsebesség és képminőség szempontjából nem jelentenek előnyt, a jelentőségük csak átviteli hibákkal terhelt hálózati alkalmazásokban van.

Az AVC első, 2003. májusi verziója főleg a kis bitsebességű és felbontású alkalmazásokra, valamint a normál felbontású televíziós (SDTV) területre koncentrált; az új eszközök a HDTV tartalmak kódolásánál ugyanis nem biztosítottak kiemelkedő hatékonyságnövekedést az MPEG-2 kódoláshoz képest, mivel ezek inkább kis felbontás és bitsebesség esetén alkalmazhatók eredményesen. Ezért a 2005-ben kiadott 3-as verzióban bevezették a FRExt (Fidelity Range Extensions) kiegészítést, amely 4 új HDTV profillal egészítette ki a meglévő három profilt. Később – több korrekciós verzió kiadása után – 2007-ben a 7. verzióban még öt új HDTV profilt definiáltak, majd 2007 novemberében a 8-as verzióban skálázható videokódolással és a vele járó 3 új profillal egészítették ki az AVC szabványt.

A HD tartalmak esetében az AVC fölénye az MPEG-2 videokódoláshoz képest kezdetben nem volt egyértelmű, és csak a későbbi fejlesztések után lehetett azt kimondani, hogy az AVC hatékonyabb az MPEG-2 videóknál. A 2006-os labdarúgó világbajnokságot az európai műsorszórók közül a Premiere 19 Mbit/s, a BBC és az SVT 20 Mbit/s, míg a TF1 10,5 Mbit/s adatsebességgel sugározta, a formátum a 1080i/50 (1920x1080, 50 Hz, váltott soros letapogatás) volt. 2008-ban a HDTV minőségű tartalmak esetén alkalmazott adatsebesség a sváj-

ci műsorszórónál, az SRG-nél 13 Mbit/s, itt a kódolási formátum 720p (1280x720, progresszív letapogatás).

A tesztek szerint az AVC lényegesen jobb minőséget biztosít, mint bármelyik előző kódolás. Az összegzett eredmények szerint valamennyi összehasonlításban azonos képminőség mellett a tömörítési hatékonyság javulása legalább 1,5-szeres, de az összehasonlítások mintegy 60%-ában a javulás legalább kétszeres.

Kétségtelen tehát, hogy amennyiben a cél nagyfelbontású tartalmak hatékony kódolása, akkor egyértelműen AVC kódolást célszerű alkalmazni.

2.2. Hangkódolási megoldások

2.2.1. Pszichoakusztikai jelenségek alkalmazása a hangkódolásban

Az emberi hallás működését vizsgáló kísérletek azt mutatják, hogy az emberi hallórendszer felbontása frekvenciafüggő, magasabb frekvenciákon nagyobb frekvenciakülönbség kell ahhoz, hogy két közeli frekvenciájú szinuszos hangot meg tudjunk különböztetni egymástól. A frekvenciafüggés azonban nemcsak a felbontásban, hanem a hangok intenzitásának érzékelésében is kimutatható: csendes szobában az azonos intenzitású hangok nem keltenek azonos hangosságérzetet, a hangosságérzet függ a hang frekvenciájától. Az érzékenység a hangosságérzethez hasonlóan szintén frekvenciafüggő.

A hangosságérzet és érzékenység szempontjából azonban még fontosabb jelenség az, amikor is nem csendes szobában, hanem zavaró hangok környezetében végezzük el a kísérletet: ekkor a zavaró hangokhoz közeli frekvenciákon a hallás érzékenysége leromlik és azokat a halkabb hangokat, amelyeket a csendes szobában még meghallanánk, a zavaró hangok jelenlétében már nem halljuk.

Ez a megfigyelés vezetett a jelenlegi hangkódolási rendszerek alapelveihez: a hanganyag tömörítését keskeny frekvenciasávonként kell elvégezni, a sávon belül a kódolási zaj még megengedett szintjét a sávon belüli „lehangosabb” hang intenzitása és a szomszédos sávokon belüli „lehangosabb” hangok határozzák meg. Az adott sávon belül tehát a kódolási zaj nem azért nem hallható a lejátszás közben, mert annak szintje a hallásküszöb alatt marad, hanem azért, mert a zajt a nagy intenzitású, közeli frekvenciájú hasznos hangtartalom elfedi. Ez pedig azt eredményezi, hogy keskeny frekvenciasávokra bontva a hanganyagot, a sávonkénti legnagyobb intenzitású hasznos hang intenzitásának függvényében jelentős tömörítési arányt lehet elérni.

A jelenlegi hangkódolási algoritmusok jellemzően az alábbi elemekből állnak:

- A folyamatos hanganyagot csatornánként mintavételezzük.
- A hanganyagot csatornánként szakaszokra (keretekre) bontjuk, egy keret hangminták időben egymás utáni sorozata lesz.
- A keretek mintáiból transzformációval kialakítjuk a keret frekvenciatartománybeli leírását: a transzformált keretben már eltérő frekvenciájú minták vannak.

- A frekvenciatartományban keskeny frekvenciasávonként meghatározzuk a hangtartalom függvényében, hogy mekkora az a szint (maszk), ami alatti zaj már nem hallható. A *maszk* meghatározásához szükséges a keret frekvenciatartománybeli leírása, ehhez használhatjuk a transzformált keretet, ha az elég finom frekvenciafelbontású, de használhatunk külön transzformációt is (például a transzformált keret helyett a keret Fourier-spektrumát).

- A transzformált kereten annyi bittel kódoljuk a mintákat, hogy a kódolásból eredő (kvantálási) zaj a maszk alatt maradjon, azaz ne legyen hallható: több bit kisebb zajenergiát, kevesebb bit pedig nagyobb zajenergiát eredményez.

- A transzformált tartományban mintablokkokat alakítunk ki, a mintablokkon belül minden mintát a korábban meghatározott számú biten ábrázoljuk.

- Ha esetleg túl sok bit keletkezik, akkor kényszerűen csökkenteni kell a bitek számát, de ekkor a kódolási zaj már hallható lesz a lejátszás közben. Ha ezzel szemben túl kevés a kódolt bit, akkor egyes frekvenciasávokban több bitet használunk fel. Ezzel még inkább javul a kódolt anyag minősége, ami a későbbi újrakódolás miatt fontos szempont lehet.

2.2.2. MPEG-1 hangkódolás II-es rétege (MPEG-1 Audio Layer II)

Az MPEG-1 hangkódolási szabványban [3] 48, 44, 1 és 32 kHz-es mintavételi frekvenciájú hangjelek kódolhatók, a csatornaszám szerint a jel lehet monó, 2 csatornás sztereó és kapcsolt sztereó, illetve két független csatornás monó. Kimeneti adatsebesség csatornánként 32 és 384 kbit/s között diszkrét lépésekben állítható. Csak a kimeneti adatfolyam szabványos és 3 réteget definiáltak a különböző alkalmazásokra és adatsebesség tartományokra.

Az MPEG-1 hangkódolás II-es rétegének kódolója 32 darab, frekvenciában egyforma szélességű sávszűrővel állítja elő a hangkeret transzformáltját. Ez azonban túl durva felbontás a maszk meghatározásához, ezért a maszkot az 1024 pontos Fourier-transzformált jelből határozzuk meg. A Fourier-spektrum alapján kiszámítjuk, hogy a 32 részsávban mekkora lehet a maximális zajenergia, amiből pedig azt is megkapjuk, hogy egy sávon belül hány bit szükséges a minták kódolására. Az MPEG-1 hangkódolás II-es rétegében a 32 részsávon belül 36 egymás utáni mintát fogunk össze egyetlen mintablokkba, így a keretméret $32 \times 36 = 1152$ minta lesz. Mivel a sávonkénti bitek számát adatként átvisszük, ezért a pszichoakusztikus modellre (a maszk meghatározására) és a sávonkénti bitszám kiszámítására a dekódoló oldalon nincs szükség (3. ábra).

A mintablokk hatékony kódolását nemcsak az segíti elő, hogy mintablokkonként csak egy bitszámra vonatkozó mező van, hanem az is, hogy a hallás azonos mintablokkonkénti bitszámon kevésbé érzékeny a kódolási torzításra, ha a biteket nem egyenlő arányban osztjuk el a minták között. Egy ilyen módszer a *mintablokk léptéktényezővel történő kódolása*, ahol a legna-

gyobb amplitúdójú mintát sok bittel kódoljuk, majd pedig a kódolt maximummal elosztjuk a többi mintát (normalizálás) és a kapott normalizált mintákat (beleértve a legnagyobb amplitúdójút is, amely így +1 vagy -1 közeli értékű lesz normalizálás után) kevesebb bittel kódoljuk.

2.2.3. MPEG-2 Advanced Audio Coding [4]

Már az MPEG-1 hangkódolás kifejlesztése közben felmerültek olyan igények, amelyeket az MPEG-1 korlátai miatt nem lehetett teljesíteni. Az egyik fontos igény volt a kettőnél több csatorna kódolása, illetve alacsonyabb mintavételi frekvencia alkalmazása. Az MPEG-1 hangkódolás hátrányos tulajdonsága volt, hogy kis adatsebességek esetén a hangminőség rossz volt, mert a mintavételi frekvencia nem lehetett 32 kHz-nél kisebb.

Első lépésben az MPEG-2 szabványon belül az MPEG-1 hangkódolással visszafelé kompatibilis kiterjesztést, illetve alacsonyabb mintavételi frekvenciájú, de tartalmilag az MPEG-1 hangkódolási szabvánnyal azonos kiterjesztéseket hoztak létre. 1995 januárjában az újabb tudományos eredmények alapján elkezdték kidolgozni a továbbfejlesztett hangkódolási szabványt, amely MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding) fantázianéven 1997. áprilisában vált ISO szabvánnyá.

Az MPEG-2 AAC főbb célkitűzése volt a sok mintavételi frekvencia (8-96 kHz) és a változatos csatornakiosztás támogatása. A sokcsatornás (sztereó) kódolásnál előírták, hogy az eredetnél kevesebb számú csatornán is reprodukálható legyen a kódolt anyag. Nem utolsó sorban pedig követelmény volt az újabb tudományos eredmények beépítése a kódolási hatékonyság növelése érdekében, akár a kompatibilitás árán is.

Az MPEG-2 AAC kódoló felépítését a 4. ábra mutatja. (Az ábra csak az igazán lényeges elemeket tartalmazza.) Maga a kódolás az MPEG-1 hangkódoláshoz hasonló, ám szinte az összes elem módosult, illetve új elemek is bekerültek.

A 32 részsávós szűrőt az új megoldásban 256 vagy 2048 pontos MDCT (módosított diszkrét koszinusz-transzformáció) helyettesíti. Ha a jel gyorsan változik, akkor

a transzformáció rövid blokkot használ, így időben gyorsan változik az MDCT spektrum. A gyors változásnak azonban ára van: kevés frekvenciakomponenst kapunk. Ha azonban a hangjel állandó, akkor a blokkméret nagy lesz, ezzel együtt pedig a frekvenciakomponensek száma is nőni fog. Az ablakméretre vonatkozó döntést külön egység végzi el. (Az ablakméret változtatását a kimeneti bitfolyamban is jelezzük.)

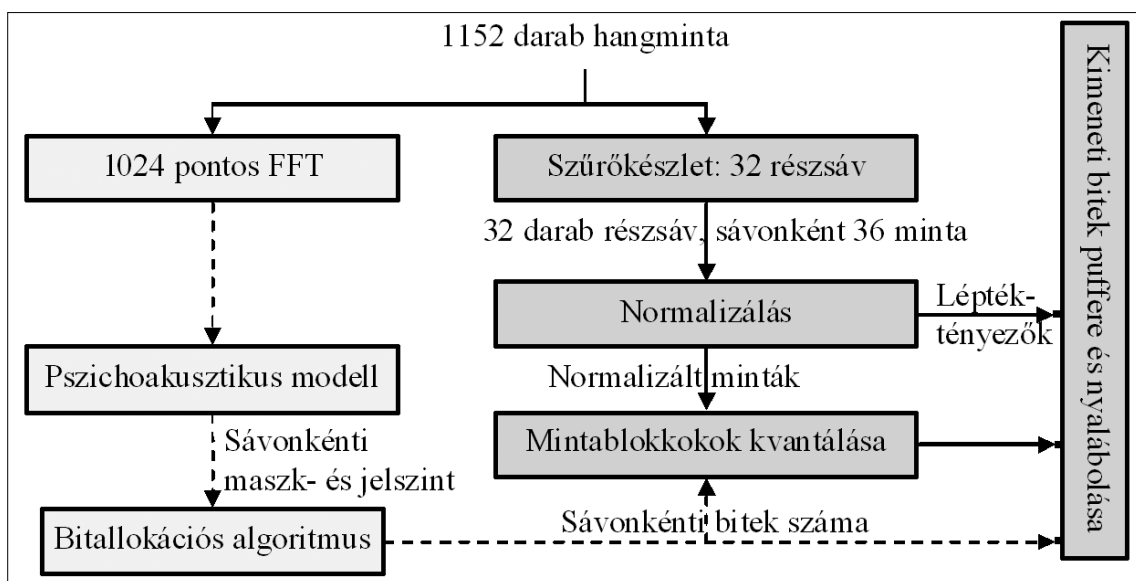
Amennyiben a hangjel nagyon hosszú ideig állandó vagy pedig alig változik, akkor az MDCT spektrumot nem önmagában kódoljuk, hanem az egymás utáni spektrumoknak csak a különbségét kódoljuk úgy, hogy az előző két hosszú ablak spektrumából becsüljük a jelenlegi spektrumot és csak a becslési hibát küldjük tovább. Ezt a feladatot a „Spektrális predikció” nevű eszköz végzi el.

Az MDCT spektrumnál is meg kell adni, hogy az egyes mintákat hány biten kódoljuk. Ezt ismét csak nem mintánként, hanem mintablokkonként fogjuk megadni. Az MPEG-2 AAC esetében az MDCT spektrumot frekvenciában egymás utáni mintablokkokra bontjuk fel. A mintablokk mérete a frekvencia növekedésével növekszik. A mintablokkot itt is léptéktényezővel és normalizáltan kódoljuk.

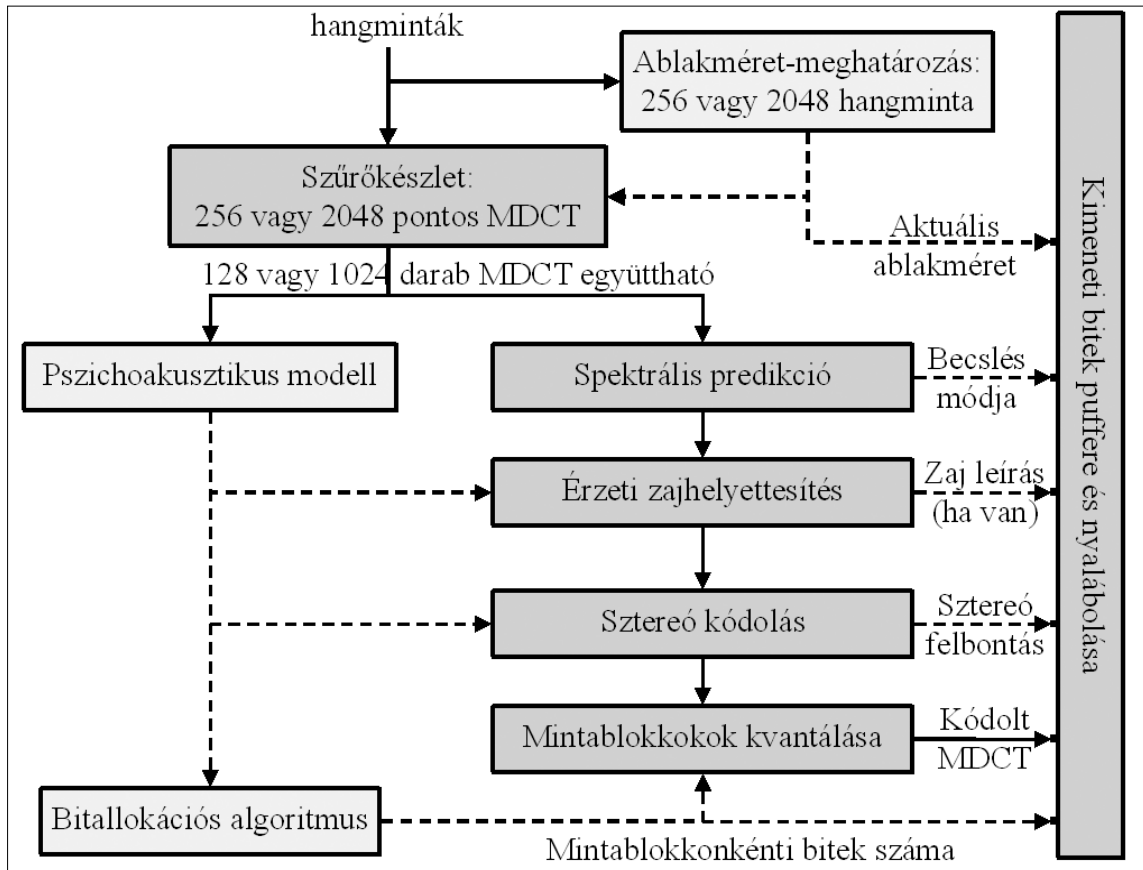
Sok esetben a mintablokkon belül zaj van, és ekkor nem érdekes az, hogy milyen MDCT frekvenciák adják ki a zajt, hanem a zaj alakjának és energiájának kódolása is elegendő – ezek az adatok pedig kisebb bitszámon tárolhatók. Ilyenkor az „Érzeti zajhelyettesítés” modul az MDCT mintablokkot zajnak jelöli be. Az MDCT mintablokkok kvantálása előtt – hasonlóan az MPEG-1 hangkódoláshoz – a mintablokkonkénti bitszámot is továbbbítjuk a kimeneti bitfolyamban a dekóder felé.

A fentiek szerint a pszichoakusztikus modell is változott az MPEG-1-hez képest: egyrészt a modell nem Fourier-spektrumot kap meg a bemenetén, hanem MDCT-spektrumot, másrészt pedig nemcsak azt adja meg, hogy mintablokkonként mekkora a kvantálási zaj és a jel szintje és így közvetetten azt, hogy hány bitre van szükség, hanem azt is, hogy a mintablokkon belül esetleg zaj jellegű hasznos tartalom található-e, illetve hogy a sztereó kódolás hogyan menjen végbe.

3. ábra
Az MPEG-1 hangkódolás II-es rétegű kódolójának egyszerűsített elvi felépítése



4. ábra
Az MPEG-2
AAC hang-
kódoló
egyszerűsített
elvi felépítése
egy csatornát
kiemelve



A szubjektív vizsgálatok alapján az MPEG-2 AAC többcsatornás rendszerekben 48 kHz mintavétel mellett csatornánkénti 64 kbit/s-os bitsebességgel képes a hanganyagot az eredetitől megkülönböztethetetlen minőségben kódolni. Ezt a minőséget az MPEG-1 hangkódolás II-es rétege csatornánkénti 128 kbit/s-on, míg az MP3 néven is ismert MPEG-1 hangkódolás III-as rétege csatornánkénti 96 kbit/s-on képes elérni – persze utóbbiak csak legfeljebb 2 csatornával.

2.2.4. Dolby Digital

A Dolby Digital 1992-es szabvány [6], tehát régebbi, mint az MPEG-2 AAC. A kétcsatornás változat AC2, a többcsatornás pedig AC3 néven is ismert. A Dolby Digital az MPEG-2 AAC-hez hasonlóan szintén MDCT transzformációt használ és ebből adódóan rengeteg hasonlóság van a két kódoló között, de vannak lényeges különbségek is.

A mintablokkra osztás frekvencia szerint logaritmikusan történik, a kódolás itt is léptéktényezővel és normalizáltan történik. A lényeges különbség azonban az, hogy a pszichoakusztikus modell itt az MDCT-spektrum helyett a léptéktényezőket veszi alapul, ebből számítja ki a mintablokkonkénti bitszámot. Ez pedig azt jelenti, hogy csak a léptéktényezőket és a kvantált mintákat kell elküldeni, a mintablokkonkénti bitszámot nem – ezzel bitsebességet lehet megtakarítani. A bitsebességmegtakarítás ára azonban az, hogy a pszichoakusztikus modell nem olyan pontos bemeneti adaton alapul, mint az MDCT spektrum, és hogy a pszichoakusztikus modellt a dekódolóban is meg kell valósítani. Ez utóbbi a Dolby Digital szabványban 16 bites egész pontos arit-

metikára optimalizáltan rendelkezésre áll, és az AC2 vagy AC3 kódolók már több mint 10 éve a könnyen implementálható kategóriába tartoznak.

2.2.5. A műsorszórásban használt hangkódolók

A gyakorlatban a szolgáltatók a Dolby Digital kódolást 448 kbit/s-on alkalmazzák, míg a többcsatornás AAC-t csak 320 kbit/s-on. Ez a két beállítás jellemző mint DVB feletti HDTV és SDTV, mind pedig IPTV rendszeren megvalósuló SDTV szolgáltatásoknál. Az SDTV szolgáltatásoknál az MPEG Audio Layer II többcsatornás kiegészítését (Layer II with MPEG Surround) is alkalmazzák 256 kbit/s bitsebességen.

2.3. A képet, hangot és egyéb adatokat tartalmazó adatfolyam kialakítása

Az előzőekben említett módon forráskódolt adatokat a továbbítás előtt megfelelő módon át kell szőni, illetve a dekódoláshoz szükséges információval kell ellátni. Amennyiben a továbbítás állandó bitsebességű, zajjal és interferenciával terhelt csatornában történik – ilyen a földfelszíni csatorna is –, az adatok továbbítása átviteli adatfolyamként történik. Az adatfolyam kialakításának módját az MPEG-2 szabvány MPEG-rendszerrel kapcsolatos része [7] tárgyalja.

2.3.1. Továbbítás átviteli adatfolyamként

Az átviteli adatfolyamot úgy tervezték, hogy az általa továbbított programok audió-, illetve videóadatai könnyen kinyerhetők, dekódolhatók és megjeleníthetők legyenek. Az átviteli adatfolyam kialakítása lehetővé te-

szi azt is, hogy az általa, illetve más átviteli adatfolyamok által szállított programokból új átviteli adatfolyamot alakítsunk ki. (Így lehet például több műholdas átviteli adatfolyamban szállított programokból új adatfolyamot kialakítani a kábeles vagy a földfelszíni közeg számára.)

Az átviteli adatfolyam rögzített méretű, 188 bájtos csomagokból áll. Egy-egy csomag adott típusú adatot (képinformációt, hangadatokat, járulékos adatokat) továbbít és adott, a továbbított tartalomhoz kapcsolódó azonosítóval rendelkezik. Ezen azonosító teszi lehetővé a különféle részadatfolyamok (a hang, a kép és az egyéb adatok) újbóli összeállítását.

Az adatfolyamon belül a képen, a hangon és a járulékos információkon kívül – úgynevezett táblákon keresztül – a következő információkat kell továbbítani:

- Program-hozzárendelési adatokat, amelyek megadják, hogy az adatfolyam által szállított videóra és hangra vonatkozó programleképezési adatokat milyen azonosítójú csomagok szállítják;
- Programleképezési adatokat, melyek megadják, hogy az adott program képi, hangi és járulékos adatai milyen azonosítójú csomagokban található;
- Hálózati adatokat, melyek a szolgáltatás és az azt továbbító adatfolyam azonosítóját, a csatorna-frekvenciát, műholdas átvitel esetén a transzponder számát, illetve a modulációs jellemzőket hordozzák. Ezen adatok továbbítása nem kötelező;
- Hozzáférés-vezérlési adatokat, melyek megadják, hogy a titkosított programok megjelenítésére jogosult-e a vevő.

3. Csatornakódolás és moduláció földfelszíni televíziós szolgáltatás esetén

A csatornakódolás és moduláció megválasztása során a cél az, hogy az előzőleg ismertetett, képet, hangot és járulékos adatokat továbbító átviteli adatfolyamot olyan védelemmel lássuk el, illetve olyan modulációval továbbítsuk, amely a lehető legnagyobb védelmet biztosítja a földfelszíni csatorna káros hatásaival szemben.

3.1. A földfelszíni csatorna jellemzői

Az adóantenna és a vevőantenna között terjedő hullámot a földfelszíni csatornában számos fizikai hatás éri. Mivel mind az adó, mind a vevő a talaj közelében van, a terjedést a domborzat, a növényzet, valamint az épületek és építmények egyaránt befolyásolják. A hullám a különféle tereptárgyakról visszaverődve a vevőantennára többféle úton, jelentős fázis- és futásiidő-különbséggel érkezik.

Ezen túlmenően, ha a vétel nem egyhelyben történik, hanem az adó és a vevő egymáshoz képest mozog, további problémákkal is számolni kell. Mozgó vevő esetén a vevő közelében (az úgynevezett közeltérben) található álló vagy mozgó tárgyak Doppler-szóródást okoznak. A Doppler-szóródás következtében egy adott pontra a legkülönbözőbb amplitúdójú és fázisú hullámcsomagok érkeznek be. Mindemellett mozgó vétel

esetén a vevő az adó frekvenciáját némileg eltolódva érzékeli (Doppler-eltolódás).

A gyakorlati esetekben tehát a mobil rádiócsatorna frekvenciaszelektivitással és időszelektivitással is rendelkezik, azaz a vett jel erőssége a frekvencia és az idő függvényében egyaránt változik, mivel széles sávú jelekről van szó, a változás egy adott csatornán belül is jelentős lehet. A frekvenciaszelektivitás a különböző terjedési utak miatt fellépő futásiidő-különbségből fakad, az időszelektivitás pedig a különböző utakról különböző szöggel a vevőantennára eső hullámok következménye. A földfelszíni rádiócsatorna frekvencia- és időszelektív amplitúdókarakterisztikáját három terjedési út esetén az idő és a frekvencia függvényében az 5. ábra mutatja.

3.2. Ortogonális frekvenciaosztásos nyálábolás

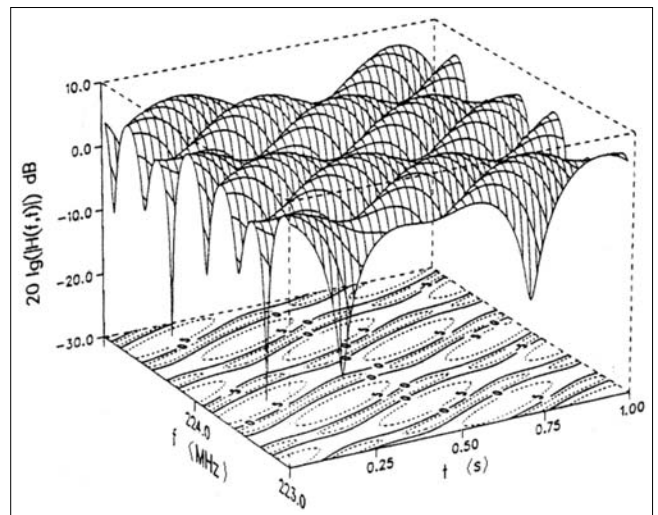
A csatornára jellemző, előzőekben ismertetett nehézségek kivédése, valamint az általuk okozott problémák kiküszöbölése céljából a DVB-T rendszer modulációja az ortogonális frekvenciaosztásos nyálábolás (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM), egészen pontosan kódolt OFDM (Coded OFDM, COFDM).

Az OFDM moduláció sajátossága, hogy az információt nem egyetlen vivő és ezen vivő valamely paraméterének megváltozása hordozza, hanem az átvitelben egymástól egyenlő távolságra lévő, viszonylag közel (hogy milyen közel, arról később lesz szó) található sok vivő vesz részt. Az OFDM-átvitel jelzési idő alatt kibocsátott, ezen idő alatt változatlan modulációs tartalmat hordozó vivőit OFDM-szimbólumnak nevezzük.

Megfelelő ellenlépések megtétele nélkül előfordulhatna, hogy két egymás utáni szimbólumot a vevő egyszerre észlelné. Ilyenkor a később érkező, de az adó által korábban kisugárzott és a csatorna által késleltetett szimbólum interferenciát okozna. Ezt kiküszöbölendő két szomszédos szimbólum közé beékeltek egy védelmi intervallumnak nevezett idősávot, mely idő alatt az adó a kronológiailag későbbi szimbólum végét sugározza ki. A védelmi intervallumot úgy választották meg,

5. ábra

A földfelszíni csatorna amplitúdókarakterisztikája a vevő bemenetén három különböző úton érkező jel esetén



hogy az nagyobb legyen a leghosszabb késleltetési-idő-különbségnél. Ezzel biztosítható, hogy a vevőre egy időben csak azonos szimbólumhoz tartozó jelek érkezenek. A szimbólumok időtartamából és a védelmi intervallumból álló szimbólumidőt viszonylag nagyra kell választani, mivel csak így biztosítható, hogy a védelmi intervallum a teljes szimbólumidőnek csak egy elenyésző része (legfeljebb negyede) legyen. Ha a szimbólumidő nagy, akkor viszont megfelelő adatsebesség eléréséhez sok vivőre van szükség. A rugalmasság érdekében a DVB-T rendszerben kétféle szimbólumidő, ennek megfelelően kétféle vivőszám választható: egy kisebb szimbólumidejű, körülbelül 2k vivőszámmal működő (úgynevezett 2k mód) és egy nagyobb szimbólumidejű, körülbelül 8k vivőszámmal működő változat (úgynevezett 8k mód). A két változat közül a megcélzott alkalmazásnak megfelelően kell választani: a nagyobb vivőszám rövidebb szimbólumidőt jelent, ennek megfelelően a védelmi intervallum is rövidebb, ám a vivők közelebb vannak egymáshoz, így Doppler-eltolódás esetén nagyobb a vivők közötti áthallás valószínűsége.

3.3. A digitális földfelszíni televíziós rendszerben (DVB-T) alkalmazott csatornakódolás és moduláció

A csatornakódolás és moduláció feladata a továbbítani kívánt adatok illesztése a továbbítást végző közeg tulajdonságainak megfelelően. A DVB-T rendszerben alkalmazott csatornakódolást és modulációt a DVB-T szabvány [8] tartalmazza. A csatornakódolási és modulációs lépéseket a 6. ábra szemlélteti.

A bejövő átviteli adatfolyamot először is meg kell szabadítani az esetlegesen jelen lévő energiacsomóktól. Ezt a műveletet energiaterítésnek nevezzük. Az energiaterítés nem más, mint az adatfolyam álvéletlenné alakítása. Csatornák közti áthallás esetén az álvéletlenné alakított jel a szomszédos csatornában többé-kevésbé zajként jelentkezik, hiszen mentes az emberi érzékelésre zavarólag ható energiacsomóktól.

A csatornakódolási folyamat következő lépése az RS (204, 188, 8) paraméterű szisztematikus Reed-Solomon hibakorlátozó kódolást alkalmazó, úgynevezett külső kódolás. A külső kódoló a kódolást a 188 bájtos átviteli adatfolyam-csomagokon végzi, mégpedig úgy, hogy

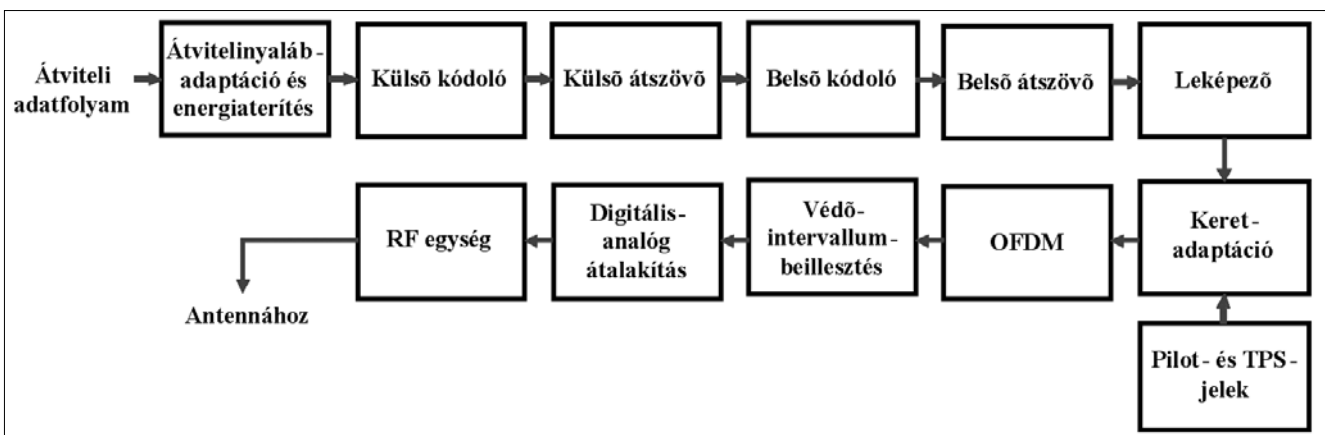
minden 188 bájthoz további 16 hibakorlátozó paritásbájtot fűz hozzá. Az ilyen módon kialakított kód kódszavanként (204 bájtonként) 8 bájthiba javítására képes, azaz amennyiben a 204 bájtos csomagban csak 8 bájthiba történik, az üzenet visszaállítható. A külső kódolás feladata tehát az adatfolyam bájthibákkal szembeni védelmének biztosítása.

A 204 bájts hosszú csomagok a külső átszövőre kerülnek, mely 12 csomag tartalmát jól meghatározott módon összekeveri. A keverés következtében az egymás melletti bájtok egymástól távol kerülnek, így a földfelszíni csatornában keletkező hibák – melyek jellemzően időben gyors lefolyásúak és egymáshoz időben (és frekvenciában, ahogy az a későbbiekből kiderül) közel eső adatok meghibásodását okozzák – a keverés vevő oldali megfordítása után 12 csomagra oszlanak szét, az így szétszórótt hibákat pedig a Reed-Solomon dekódoló nagyobb eséllyel tudja majd kijavítani. (Kisebbszámú lesz annak a valószínűsége, hogy a 204 bájton belül nyolcnál több bájts hibásodik meg.)

A külső átszövést a pontozott konvolúciós kódolásból álló belső kódolás követi. A bájts szintű hibavédelemmel szemben a belső kódoló bit szintű hibavédelemmel látja el a Reed-Solomon kódolását, átszövött csomagokat. A konvolúciós kódoló minden bejövő bithez 2 kimeneti bitet állít elő. Az előállítás mindig hét szomszédos bit alapján történik. A konvolúciós kódoló kódaránya (azaz a bemeneti és kimeneti bitek számának aránya) eredendően 1/2. Ez a kódarány azonban pontozással – a kimeneti adatfolyam bizonyos bitjeinek elhagyásával – növelhető. A kódarány növelésének következtében a kódoló által hozzáadott többletinformáció mennyisége csökken, ezzel együtt persze a továbbítható hasznos adatmennyiség nő, ám ennek ára a hibákkal szembeni védelem csökkenése lesz. A használható kódarányt, mely lehet 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, vagy 7/8, a belső kódoló részét képező pontozó állítja be.

A belső kódolást követően a belső átszövésre kerül sor. A belső átszövés blokk alapú bitátszövésből és szimbólumátszövésből áll. A belső átszövő biztosítja, hogy a bitfolyamban egymás mellett szereplő információk a frekvenciasávban szétszórva kerüljenek továbbításra. Ezt a szétszórást az teszi lehetővé, hogy az adat-

6. ábra A DVB-T csatornakódolása és modulációja



folyam továbbításához sok párhuzamos vivőt alkalmazó OFDM modulációt használnak.

A belső átszövés eredményeképpen 2, 4, vagy 6 bites szavak állnak elő attól függően, hogy az OFDM moduláció során az egyes vivőkön hány különböző szimbólum vihető át. Egy 6 bites kódszóval összesen $64 (=2^6)$ állapot különböztethető meg, így a bejövő 6 bites szó 64 állapot egyikét jelöli ki egyértelműen (ugyanaz 4 bites szó esetén 16, 2 bites szó esetén 4 állapotot jelent), az adott állapothoz pedig egy jól meghatározott amplitúdó és fázis tartozik. Az ilyen formán meghatározott amplitúdóval és fázissal kell aztán az előzőekben már említett OFDM moduláció egyes vivőit modulálnunk. Maga a DVB-T tehát háromféle leképezést – amplitúdó- és fázismeghatározást – tesz lehetővé, az egyes vivők esetén ez QPSK, 16QAM vagy 64QAM modulációt jelent. A leképezés grafikusan konstellációs diagram segítségével ábrázolható.

A 7. ábra a 64QAM moduláció konstellációs diagramját mutatja. Az ábrán feltüntettük az egyes konstellációs pontokhoz tartozó 6 bites szavakat. A megfelelő konstellációs pont origótól való távolsága lesz a modulációs amplitúdó, a vízszintes tengellyel bezárt szöge pedig a modulációs fázis. Mivel a kisugárzott teljesítmény mindhárom lehetőség esetén egyenlő, ezért a több konstellációs pont kisebb pontok közötti távolságot jelent. Ennek megfelelően 64QAM moduláció alkalmazásakor igaz ugyan, hogy az elérhető átviteli sebesség nagyobb lesz, mint a másik két megoldás esetében, ám a pontok közelségéből fakadóan a hibás döntés valószínűsége is megnő.

A hasznos adatot továbbító vivők átvitele meghatározott struktúra szerint, OFDM-szimbólumokban történik. Az egyes OFDM-szimbólumok felhasználói – tehát az átviteli adatfolyam-csomagból származó – adatot, pilotjeleket és átviteli paramétereknek megfelelő adatot hordozó (úgynevezett TPS-) vivőkből állnak. A különféle információt szállító vivők megadott sorrendben követik egymást. A sorrend kialakítása a keretadaptációs fo-

lyamat. A pilotjelek átvitelére szinkronizációs okokból kerül sor, az átviteli paramétereket (az alkalmazott kódarány, leképezés, OFDM-vivőszám, védelmi intervallum) továbbító vivők pedig az átviteli paraméterek demodulálás nélküli meghatározását szolgálják. A keretadaptációt követően kerül sor az OFDM modulációra, illetve a korábbiakban említett védelmi intervallum beültetésére.

A DVB-T rendszerben biztosítható hasznos adatsebesség a vivőnként továbbított bitszámtól, a védelmi intervallumtól és a kódaránytól függően 4,98 (leginkább védett átvitel) és 31,67 Mbit/s között változtatható.

3.4. DVB-H

A DVB-H rendszer célja a digitális földfelszíni televíziós szolgáltatás biztosítása kézi végberendezések (például okostelefonok, PDA-k) számára. DVB-H fizikai rétegének kialakítása során a cél az volt, hogy a DVB-T fizikai rétegének lehető legkisebb módosítása mellett nőjön az adatfolyam védeltsége a földfelszíni csatorna zavaró hatásaival és az impulzusszerű zajokkal szemben, és hogy a hálózattervező mérnököknek a DVB-H rendszer kialakításakor nagyobb szabadsága legyen. Mindehhez a már meglévő DVB-T rendszert négy ponton módosították: az eredeti 2k és 8k vivőszám mellett lehetőséget teremtettek a 4k szóhosszúságú OFDM-mód használatára (az úgynevezett 4k mód), módosították a mélységi átszövés menetét, kiegészítették a TPS-információkat, hogy azokkal jelezni lehessen az új megoldásokat. Ezekon kívül lehetőséget teremtettek 5 MHz-es csatorna-sávszélesség használatára is. A DVB-H rendszert részben [8], részben pedig [9] ismerteti.

3.4.1. 4k mód és mélységi átszövés

A 4k mód célja a hálózattervezés rugalmasságának javítása a mobilitás és az egyfrekvenciás hálózat mérete közti egyensúly megteremtésével. 4k módban a szimbólumidő a 2k mód szimbólumidejének kétszerese, a vivőtávolság pedig a 2k módban használt vivőtávolság fele, így az egy adó által ellátott cella mérete is a duplájára növelhető. Az új üzemmód olyan mértékű védeltséget biztosít a Doppler-hatás ellen, mely nagyon nagy sebességű vételt tesz lehetővé.

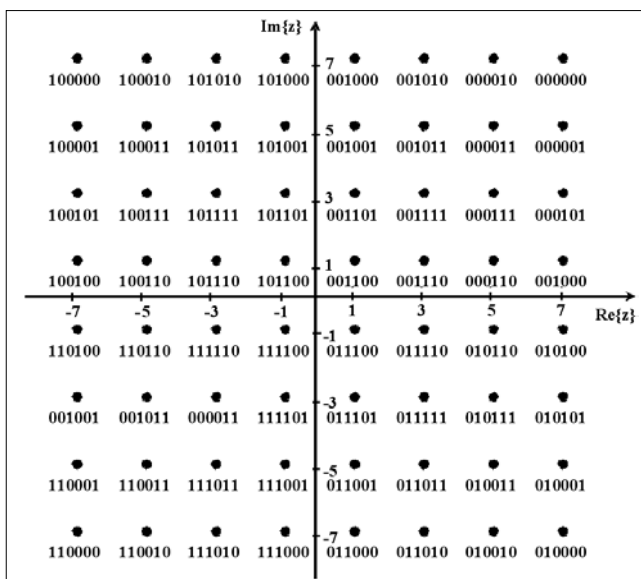
Mivel a DVB-T rendszert eredetileg rögzített vételre szánták, a szabványban előírt belső átszövés mélysége nem volt túl nagy. Az új megoldásnak köszönhetően az átszövési mélység négyszeresíthető (2k mód esetén) vagy megduplázható (4k mód esetén). Ez természetesen tovább növeli a védeltséget a leszívásokkal és az impulzus jellegű zajjal szemben.

3.4.2. Átviteli paraméter-jelzés

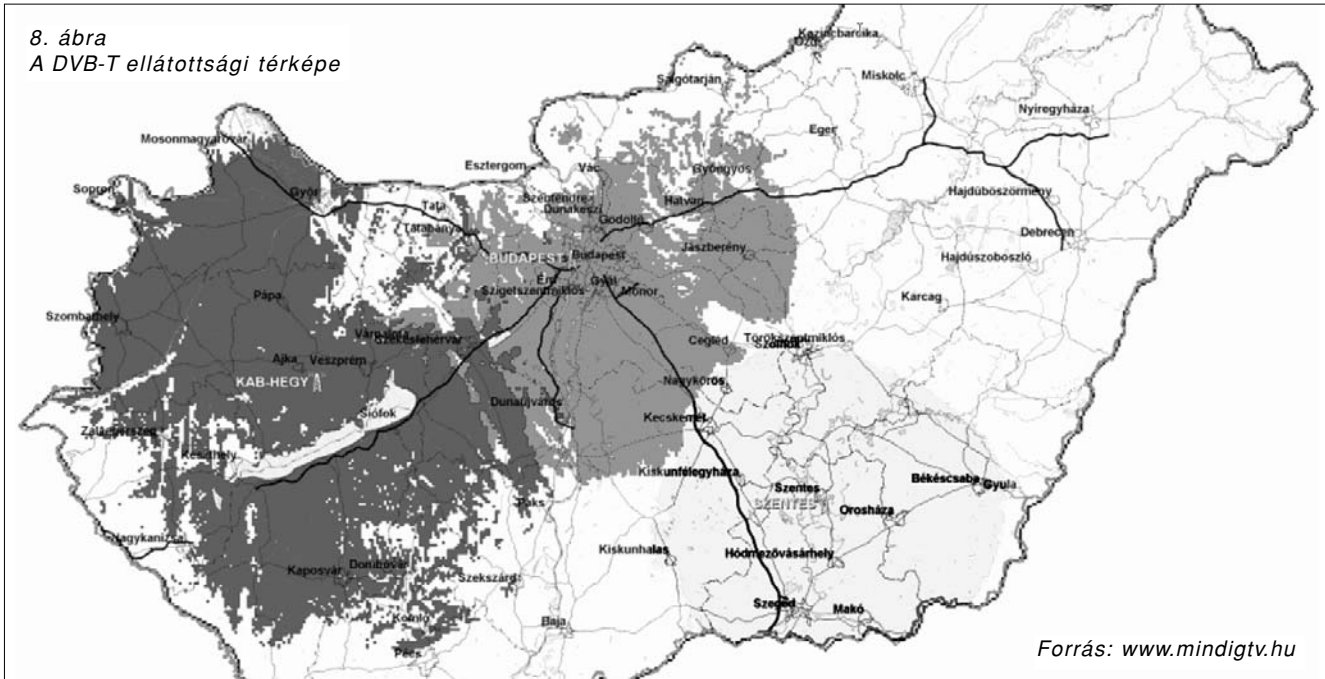
Az átviteli paraméterek továbbításának célja hibák ellen védett és könnyen hozzáférhető jelzésrendszer biztosítása, mely segítségével a DVB-vevőkészülékek a szolgáltatás paramétereit (OFDM szóhosszát, konstelláció típusát, kódarányt stb.) egyszerűen és gyorsan észlelhetik. Erre a célra a DVB-H rendszer – a DVB-T rendszerhez hasonlóan – az átviteli paraméter-jelzést használja. A TPS információit kijelölt vivők továbbítják.

7. ábra

A 64QAM moduláció konstellációs ábrája



8. ábra
A DVB-T ellátottsági térképe



Forrás: www.mindigtv.hu

3.4.3. Az adatkapcsolati rétegben végezhető kiegészítő feldolgozási lépések

A korábbi rendszerektől eltérően, melyek forráskódolása MPEG-2 alapú volt, a DVB-H rendszer által továbbított hasznos adattartalom IP-adatgrammokból vagy a hálózati réteg egyéb adatgrammjaiból áll, ily módon közvetlenül nem alkalmas MPEG-2 adatfolyam továbbítására. MPEG-2 forráskódolás helyett azonban AVC kódolás szabadon használható. Az újfajta kódolási módszerek az MPEG-2 kódolással megegyező minőséget már jóval alacsonyabb bitsebességen biztosítani tudják, így tehát adott DVB-T csatornában még több program továbbítható. Ha mindehhez hozzávesszük még, hogy a végberendezések kijelzőjének méretéből kifolyólag kisebb felbontás is elegendő, akkor az egyetlen 8 MHz-es csatornában továbbítható programok száma akár a 100-at is elérheti.

Az adatkapcsolati réteg feladata a hálózati rétegből származó adatgrammok csomagokká szervezése, a csomagok hibajavító kóddal történő ellátása, illetve a végberendezés energiafelhasználásának csökkentését lehetővé tevő időszeleltelés megvalósítása.

Az MPE-FEC hibajavító kódolásnak nevezett művelet során a függőlegesen táblázatba írt adatokat vízszintesen meghatározott Reed-Solomon kódolású paritásinformációval egészítjük ki, aminek köszönhetően ugyan csökken az átviteli sebesség, ám az adat-

folyam ellenállóbb lesz az impulzusszerű zajjal szemben. Az MPE-FEC segítségével tehát igen rossz vételi körülmények ellenére is hibamentes adatgrammok állíthatók elő.

Az időszeleltelés során azt használjuk ki, hogy a DVB-H szolgáltatás által megcélzott kézi végberendezések kijelzőjén történő megjelenítésre szánt videoanyag adatsebessége lényegesen alacsonyabb, mint a DVB-T rend-

1. táblázat
A DVB-T sugárzás műszaki paraméterei

Telephely	UHF-csatorna	Programkínálat	Műszaki paraméterek
Budapest, Széchenyi-hegy ¹⁾	55 (746 MHz)	M1 HD, M2 HD, ATV ² , HírTV ²	OFDM-mód: 8k
	62 (802 MHz)	Duna TV HD, Duna II. Autonómia	
Budapest, Száva utca ¹⁾	55 (746 MHz)	M1 HD, M2 HD, ATV ² , HírTV ²	Moduláció: 64QAM
	62 (802 MHz)	Duna TV HD, Duna II. Autonómia	
Kabhegy	64 (818 MHz)	M1 HD, M2 HD, ATV ² , HírTV ²	Védelmi intervallum: 1/8
	61 (794 MHz)	Duna TV HD, Duna II. Autonómia	
Szentes	60 (786 MHz)	M1 HD, M2 HD, ATV ² , HírTV ²	Kódarány: 3/4
	65 (826 MHz)	Duna TV HD, Duna II. Autonómia	
			Adatsebesség: 24,88 Mbit/s

¹⁾ A két adó ugyanazon a frekvencián sugároz, együtt úgynevezett egyfrekvenciás hálózatot alkot. Az egyfrekvenciás hálózat hatékonyabb frekvencia-kihasználást tesz lehetővé.

²⁾ Titkosított programok, a titkosítás feloldásához TERRA+ kártya és megfelelő vevőberendezés szükséges.

szer által biztosított adatsebesség. Ha tehát a DVB-T rendszer magas adatsebességét használva, nem egyenletes sebességgel, hanem burst-ösen továbbítjuk, akkor két adatcsomag közti tétlen időben a végberendezés vevőegysége kikapcsolható, ezáltal pedig energia takarítható meg. Az energiamegtakarítás mértéke akár a 95 százalékot is elérheti.

4. Magyarországi földfelszíni digitális televíziós szolgáltatások

A MindigTV névre keresztelt magyarországi földfelszíni digitális platform 2008 decemberében indult és jelenleg három telephelyről, Budapestről, Kabhegyről és Szentesről a lakosság 66 százalékát látja el digitális műsorokkal. A szolgáltatást tetőantennás vételre méretezték. Az ellátott területet a 8. ábra szemlélteti.

A szolgáltatás paramétereit, az egyes telephelyekről sugárzott adatfolyamokban szereplő programokat az 1. táblázat ismerteti.

A rendelkezésre álló adatsebesség a használt AVC kódolás mellett programnyalábonként (csatornánként) két nagyfelbontású és két normál felbontású program továbbítását teszi lehetővé. Valódi nagyfelbontású (HD) tartalom csak az M1 és az M2 műsorai között fedezhető fel, ott is csak időszakosan. A Duna TV műsorai ugyan HD formátumban kerülnek továbbításra, ám itt a nagyfelbontású anyag normál felbontású anyag skálázásából áll elő, így minősége természetesen nem éri el a nagyfelbontás esetén elvárt minőséget. A programok kísérőhangjai pedig jelenleg még az MPEG-1 II-es rétege szerint kódoltak.

A HD programok képaránya 16:9, formátuma 1920x1080, a letapogatás váltott soros. A HD programok továbbítása 8 Mbit/s adatsebességgel történik.

A szerzőkről



LOIS LÁSZLÓ 1971-ben született Tatabányán. 1995-ben okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, majd 2005-ben ugyanitt szerezte meg a PhD fokozatát. 1998 óta a BME Híradástechnikai Tanszékén dolgozik, jelenlegi beosztása egyetemi adjunktus. Fő kutatási területe többek között a video- és hangjelek forráskódolása és átvitele műsorterjesztő és adatátviteli hálózatokon.



SEBASTYÉN ÁKOS 1977-ben született Budapesten. 2002-ben okleveles villamosmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai Tanszékén. Jelenleg tudományos segédmunkatársként vesz részt a tanszéken folyó oktatási és kutatási-fejlesztési feladatokban. Kutatási területei közé tartozik a digitális műsorszórás (DVB-T/ S/C/H/T2), illetve az IP televízió.

Irodalom

- [1] ISO/IEC 10918-1:1994, Information technology – Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines.
- [2] ISO/IEC 13818-2:1996, Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
- [3] ISO/IEC 11172-3:1993, Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s – Part 3: Audio.
- [4] ISO/IEC 13818-7:1997, Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Advanced Audio Coding (AAC).
- [5] ISO/IEC 14496-10:2005, Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 10: Advanced Video Coding.
- [6] ATSC A/52B, Digital Audio Compression (AC-3, E-AC3) Standard, Rev. B.
- [7] ISO/IEC 13818-1 (ITU-T Recommendation H.222.0): “Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems”.
- [8] ETSI EN 300 744: “Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”.
- [9] ETSI TR 102 377: “Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines”.