

Digitális földfelszíni műsorszórás

Előadó: Dr. Kovács Imre

Egyetemi adjunktus
Híradástechnikai Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Tel: 06 1 4632080

e-mail: kovacsi@hit.bme.hu

Tanfolyam tematika

- Videójel, videó formátumok, digitalizálás
- Videó és audió kompresszió
- TS adatfolyam felépítése
- Digitális modulációk, OFDM
- **DVB-T rendszer, hálózat fajtái**
- DVB hálózat, vevő, méréstechnika
- DVB-H, DRM
- Méréstechnikai gyakorlat

A mai nap programja:

- DVB történelem (kivonat)
- DVB szabványok (kivonat)
- DVB-T csatorna moduláció
- DVB-T spektrum felépítése
- DVB-T OFDM keret szerkezet
- DVB-T OFDM pilotok (szort, állandó, TPS)
- DVB-T paraméterek (órajel, frekvencia, szimbólum)
- DVB-T adatsebesség, csatorna szám (MPEG-2, AVC)
- DVB hálózatok (MFN, SFN)
- SFN szinkron (GPS)

Előzmények

- 1991 évvégén a német kormány felismeri a digitális televízió közös európai megközelítésének szükségességét
- 1993. szeptember 10.-én 84 európai műsorszóró, gyártó, szabályozásért felelős hatóság és telekommunikációs szervezet az egyetértési memorandum (MoU) aláírásával megalakítja a DVB (Digital Video Broadcasting) projektet

Egyetértési nyilatkozat alapelvei:

- A különböző átviteli közegekre egységes szolgáltatások
- Műsorszórás, -elosztás és -szétosztás egységes technológiával
- A digitális megoldásnak minőség és spektrumkihasználás tekintetében jobbaknak kell lenni, mint a meglévőké
- A jövőbeni multimédiás, interaktív rendszerek lehetősége

DVB projekt 1

- A DVB elfogadta forráskódolásként az MPEG alapú kép- és hangkódolást, a multiplexelési elveket és az MPEG rendszert
- Ezt egészítették ki az egyes közegekhez optimalizált csatorna kódolási és modulációs elvekkel
- 1994-re kidolgozták a műholdas műsorszóráshoz optimalizált DVB-S-t, és a kábelre optimalizált DVB-C-t
- 1997-ben szabvány szintre emelkedik a földfelszíni digitális műsorszórás DVB ajánlata is (DVB-T: DVB-Terrestrial)
- A DVB-S szabvány elfogadásával a világ számos országában megindul a digitális műholdas programcsomagok sugárzása
- 2000-re a DVB-S teljesen világszabvánnyá vált

5

DVB projekt 2

- A DVB-C alkalmazására később került sor, beruházási okok és az analóg programcsomagokkal elégedett előfizetők miatt
- DVB-C kábelhálózatok is működnek ma már szerte a világban
- Nehezebb helyzetben volt és van a DVB-T, hiszen műszaki okok miatt már a szabványosítása is 3 évet késett
- Szemben a műholdas közeggel, ahol az új digitális megoldást viszonylag egyszerű bevezetni, a DVB-T bevezetése a spektrum szinte teljes foglaltsága miatt számtalan egyéb kérdést is felvet
- A DVB-T bevezetés támogatására 1996 őszén létrehoztak egy platformot, a DigiTAG-ot (Digital Television Action Group)
- E platform legfontosabb feladata, összehangolni a nemzeti törekvéseket és koordinálni az európai bevezetést

6

DVB projekt 3

- Európa számos országában 1998 és 2005 között parlamenti és kormánytámogatás mellett elindul a DVB-T szerinti sugárzás
- Élen az Egyesült Királyság, aki Európában elsőként 1998. novemberében indította el a DVB-T műsorsugárzást
- Sok egyéb között a DVB-T esetében kulcs kérdés a vevő rendelkezésre állása és ára
- A DVB-T-vel az analóg adásokat meg is akarjuk szüntetni
- Ehhez olyan vevőre is szükség van, amely a hagyományos analóg vevő nélkül is képes a vételt biztosítani
- Azt a vevőt, amely beépítetten tartalmazza a digitális csatorna- és forrásdekódolást végző áramköröket és a kijelzőt is IDTV-nek (Integrated Digital Television) nevezzük

7

DVB projekt 4

- Sajnos az IDTV egy további problémát is felvet
- Ez a digitális rendszerek által biztosítható sokféle, újabb és újabb szolgáltatásokból vezethető le
- A néző megvásárolja az IDTV-t, nem kis pénzért, és pl. félévvel később valamely speciális szolgáltatásra elő akar fizetni, miközben a vevő korábbi, mint a szolgáltatás
- Mi történjen ebben az esetben, hiszen nyilvánvalóan az nem jó megoldás, hogy a nézőnek le kell cserélnie a féléves IDTV-jét
- A probléma csak az un. nyitott operációs rendszerű IDTV koncepcióval oldható meg
- Ami azt jelenti, hogy a vevőnek upgrade-elhetőnek kell lennie

8

DVB projekt 5

- E probléma jelentős mértékben lelassította az IDTV gyártást, hiszen megfelelő operációs rendszert kell választani
- Ez pedig biztosan bonyolult és plusz költséget jelent a vevőben
- Külön kérdés a fizetős szolgáltatások és az azok biztosításához elengedhetetlenül szükséges feltételes hozzáférés rendszer
- Ez is komoly gond
- Mára az is kiderült, hogy a DVB-T bevezetését az olyan típusú egyszerű és olcsó vevő segíti a legjobban, ami képes a digitális adások vételére és valamilyen elfogadott videó/audió interfészen adja ki a dekódolt jeleket a meglévő televízió felé

9

A DVB rendszerek közös műszaki komponensei

- MPEG-1, -2 hang- és képkódolás
- MPEG-2 transzport adatfolyam (TS)
- Közös szolgáltatási információk (SI)
- Reed-Solomon hibavédelem
- Speciális átszövés és spektrumterítés
- Átviteli közeg függő moduláció és hibavédelem
- Közös titkosító hardver a fizetős szolgáltatásokhoz
- Közös feltételes hozzáférés vezérlő interfész

10

A DVB szabványai (ETSI) Digitális műholdas műsorszórás (DVB-S)

EN 300 421

- Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (*Digitális műholdas televíziós rendszer keretszerkezete, csatornakódolása és modulációja*)

Digitális kábeltelevízió (DVB-C)

EN 300 429

- Framing structure, channel coding and modulation for cable systems (*Digitális kábeltelevíziós rendszer keretszerkezete, csatornakódolása és modulációja*)
- Framing structure, channel coding and modulation for cable systems: Addition of 128 and 256 QAM to the specification (*128- és 256-QAM kiegészítés*)

11

Digitális földfelszíni műsorszórás (DVB-T)

EN 300 744

- Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (*Digitális földfelszíni televíziós rendszer keretszerkezete, csatornakódolása és modulációja*)
- Tartalmi kivonat:
 - Csatornakódolás és csatornamoduláció
 - OFDM keret, referencia pilotok
 - A TPS paraméterek célja, tartalma, szerepe, helyzete
 - Spektrum megfontolások
 - A rendszertől elvárt C/N paraméterek

12

DVB-T implementáció

TR 101 190

- **Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects (DVB földfelszíni szolgáltatások implementációs irányelvei: Adásoldali szempontok)**
- Tartalmazza a DVB-T-hálózat alapvető problémáit:
 - A DVB-T modulációs paraméterek értelmezése
 - TPS pilotok és jelzésrendszer
 - A DVB-T hálózat felépítése
 - DVB-T adók és hálózat installációs kérdései
 - SFN hálózat kialakítása, működtetése, szinkronizáció
 - Lefedettségi definíciók, minimális térerősség megfontolások

13

DVB-SFN (Single Frequency Network)

- Az SFN szinkronizáció alapvető implementációs kérdéseit, a kérdésekre adható válaszokat és a megvalósítás alapvető eszközének a MIP-nek a definícióját tartalmazza a

TS 101 191

- **Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization (Ajánlás az egyfrekvenciás hálózat mega-keret alapú szinkronizálására)**
- Legfontosabb részei a következők:
 - Általános megfontolások az SFN rendszer működéséről
 - Mega-keret definíció, a MIP csomag felépítése és funkciói
 - Az SFN szinkronizáció funkcionális leírása

14

DVB-SI (Service Information)

EN 300 468

- **Specification for Service Information in DVB systems (Szolgáltatás információk specifikációja a DVB rendszerekben)**
- Definiálja és értelmezi a következőket:
 - SI táblák és leírók
 - SI átviteli mechanizmus
 - Szöveges információ kódolását

15

DVB-visszacsatornák: DVB-PSTN

EN 300 801

- **Interaction channel through Public Switched Telecommunications Network (PSTN)/ Integrated Services Digital Networks (ISDN) (PSTN/ISDN-en keresztül megvalósított interaktív csatorna)**

DVB-DECT

EN 301 193

- **Interaction channel through the Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) (DECT-en keresztül megvalósított interaktív)**

DVB-GSM

EN 301 195

- **Interaction channel through the Global System for Mobile Communications (GSM) (GSM-en megvalósított interaktív csatorna)**

16

DVB-RCT

EN 301958

- Specification of interaction channel for DVB-T incorporating multiple access OFDM (*Digitális földfelszíni televízió többszörös hozzáférést biztosító OFDM-re alapozott interaktív visszirány*)

DVB-MHP

TS 100 812

- Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) (*Otthoni multimédia platform*)

17

DVB-interfészek

DVB-PDH

ETS 300 813

- DVB Interfaces to Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) networks (*DVB interfész PDH hálózatokhoz*)

DVB-SDH

ETS 300 814

- Interfaces to Synchronous Digital Hierarchy (SDH) networks (*Interfészek az SDH hálózatokhoz*)

DVB-ATM

TR 100 815

- Guidelines for the handling of ATM signals in DVB systems (*ATM jelek DVB rendszerekben történő kezelésének irányelvei*)

18

DVB-feltételes hozzáférés

EN 50221

- Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications (*Feltételes hozzáférés és egyéb DVB dekóder alkalmazások közös interfész*)

ETR 289

- Support for use of scrambling and Conditional Access (CA) within digital broadcasting systems (*Feltételes hozzáférés és keverési eljárás alkalmazásának elősegítése digitális műsorszóró rendszerekben*)

19

DVB-méréstechnika

- Az MPEG létrehozta a mérési munkacsoportját (MPEG Measurement Group), melynek elsődleges célja a DVB mérési eljárások kidolgozása

- A műszaki ajánlás a:

TR 101 290

- Measurement guidelines for DVB systems (*DVB rendszerek mérési elvei*)
- Az ajánlás az átviteli méréseket két nagy csoportba osztja:
 - Logikai, szintaxis alapú adatfolyam analízis mérések
 - Modulációs paraméterek és hibavédelmi mérések [\(később részben visszatérünk rá\)](#)

20

DVB-IP

- Az IP feletti DVB szolgáltatásokra a

TS 102 033

- **Architectural Framework for the Delivery of DVB-Services over IP-based Networks** (*DVB szolgáltatások IP feletti kézbesítési keret specifikációja*) címmel létezik ajánlás, mely a következő területeket fedi le:
 - Rendszer felépítés, otthoni hálózatok
 - Szolgáltatások (szórakoztatás, oktatás, kommunikáció)
 - Számlázás, feljogosítás, érvényesség ellenőrzés

21

Digitális földfelszíni televíziós műsorszórás

Digital Video Broadcasting for Terrestrial (DVB-T)

DVB-T szabvány

Digital broadcasting systems for television, sound and data services;

Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television:

EN 300744

ETSI szabvány a digitális földi sok-programos LDTV/SDTV/EDTV/HDTV műsorszórás modulációs és a csatorna kódolási jellemzőiről

DVB-T kialakításának megfontolásai

- A rendszer flexibilitási követelményei hatalmasak
- Cél: egy HD, vagy számos SD/LD program továbbítása
- Az analóg csatorna sáv szélességébe a jel beleférjen
- Lehető legnagyobb védelmi szinttel rendelkezzen a csatornák közötti és belüli interferenciával szemben
- Megfelelő spektrumhatékonyság
- Mobil vétel biztosítása
- Több szintű modulációval és különböző belső kódarányú hibavédelemmel robusztusságban különböző szolgáltatások biztosítása

24

DVB-T kialakításának megfontolásai

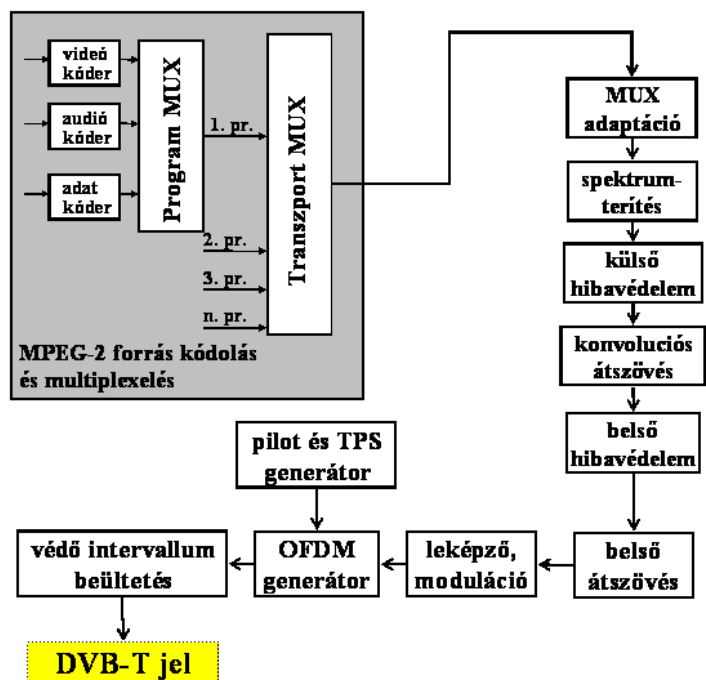
- Háromféle vevő konfigurációt tételeztek fel:
 - Fixvevő (tetőantennás)
 - Hordozható, de mozgás közben nem nézett
 - Mozgás közben nézett, tehát mobil
- A következő négy területen végeztek vizsgálatokat:
 - A rendelkezésre álló spektrum
 - Csatorna kódolás és csatorna moduláció
 - **Forráskódolás (MPEG-1, -2)**
 - **Multiplexelés (MPEG-2)**

25

A DVB-T legfontosabb kódolási lépései

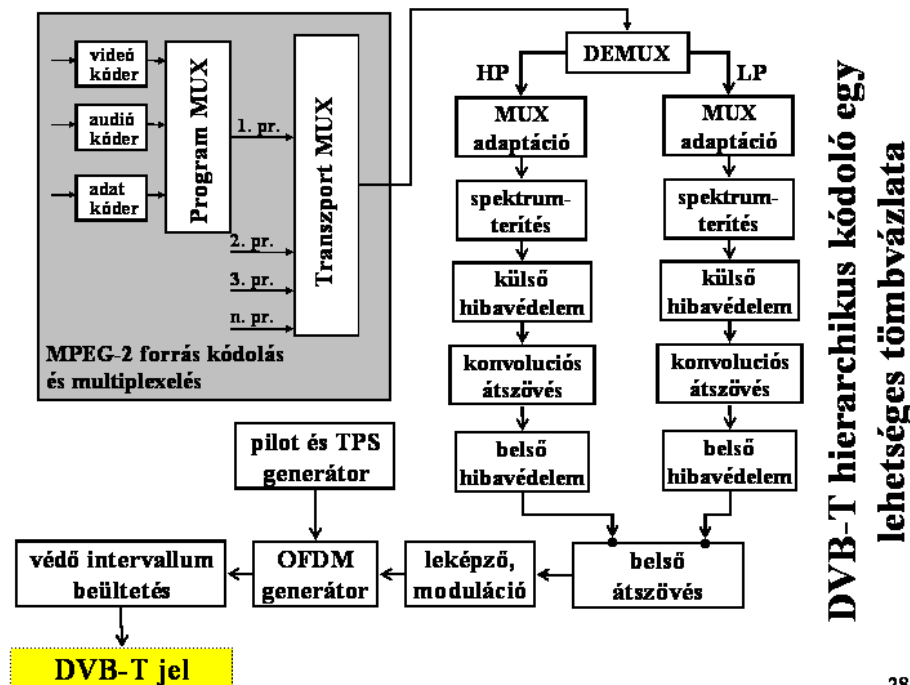
- Bemenet: MPEG-2 TS
- Transzport multiplex adaptáció, spektrumterítés
- Külső blokk hibavédelem: Reed-Solomon
- Külső konvolúciós átszövés
- Belső hibavédelem: pontozott konvolúciós kódolással
- Belső adat és frekvencia átszövés
- Konstellaációs leképzés
- OFDM jel előállítás
- Védő intervallum beültetése

26



DVB-T kódoló egy lehetséges tömbvázlata

27



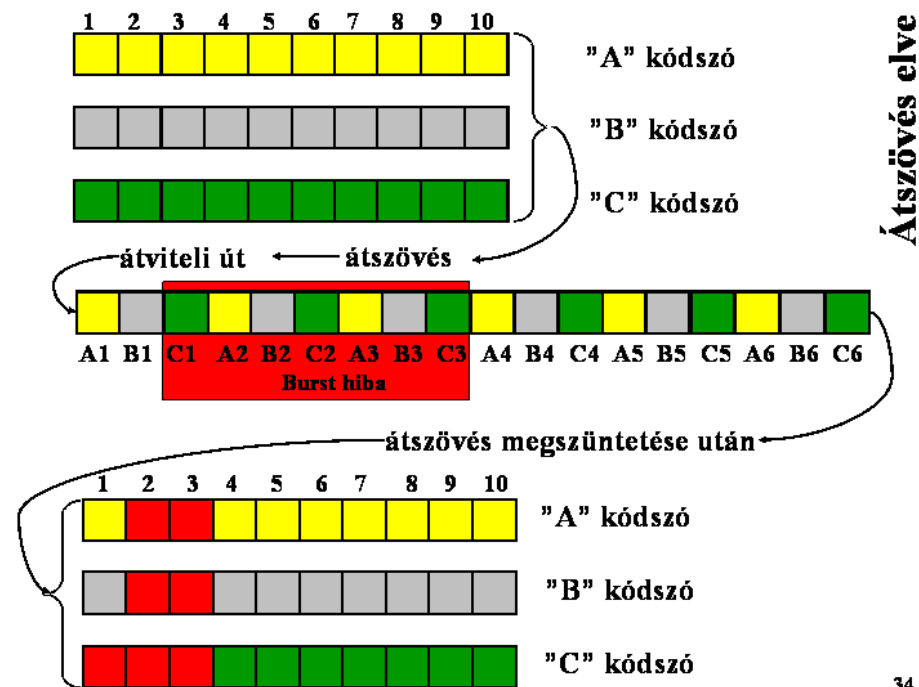
DVB-T hierarchikus kódoló egy lehetséges tömbvázlata

28

Konvolúciós átszövés

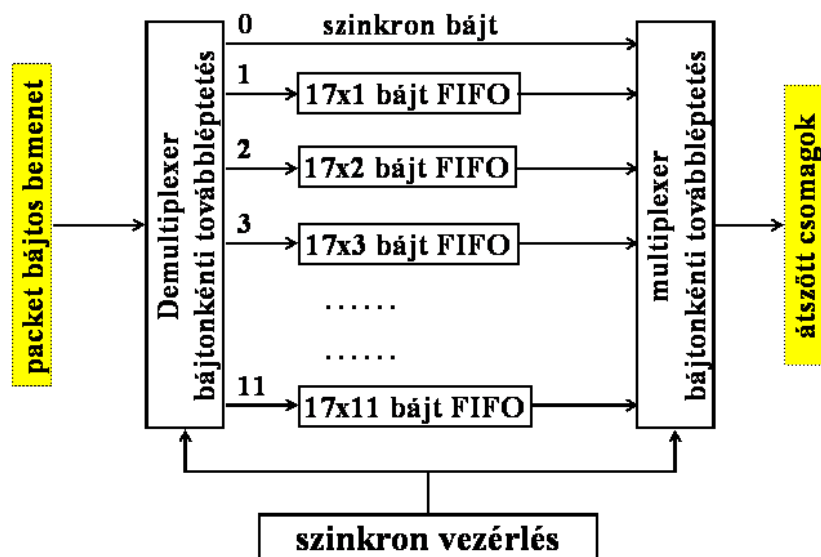
- Az RS hibavédelem után a 12-es mélységű (12 az átszövési ágak száma) Forney-féle konvolúciós átszövés következik
- A konvolúciós átszövés abban tér el a megszokott átszövési eljárásoktól, hogy az átszövés nem egy átviteli egység (TS csomag) saját adat tartalmán belül történik
- Az RS hibavédelem a blokkon belüli hibákat javítja ki
- Alapparaméter a javítható bájtok száma
- A hibajavítás szempontjából lényegtelen a hibák előfordulási helye, lehetnek egymás mellettiek, vagy távoliak, sőt az is mindegy, hogy a bájtokban egy vagy több hibás bit van-e
- Az átviteli úton keletkező egymás melletti hibák, ha a hibás bájtok száma egy kódolási egységen belül nem több mint nyolc, mindenféle egyéb eljárás nélkül is javítható lenne

33



34

12-es mélységű bájt alapú átszövés megvalósítása



35

- Az RS hibavédett csomagok szimbólumait a csomag időnél lényegesen hosszabb időre kell szétszórni
- Ezért 12 egymás utáni kódolt csomag (204 bájt) adattartalmából képezzük az átviteli útra kerülő adatfolyamot
- Így pl. az átviteli úton kialakuló 204 bájt csomag hiba adatai minimálisan 12 egymás utáni TS csomagból származnak
- Javítható max. hibahossz kis elhanyagolással $12 \times 8 = 96$ bájt
- Ha pl. az átviteli úton ennyi egymás melletti hiba keletkezik, a vételi oldalon a konvolúciós átszövés megszüntetése után, az eredetileg 96 egymás melletti bájt több mint 12 egymás utáni TS csomagba kerül, ahol az javítható, feltéve ha további bájt hiba nincs az egyes TS csomagokban

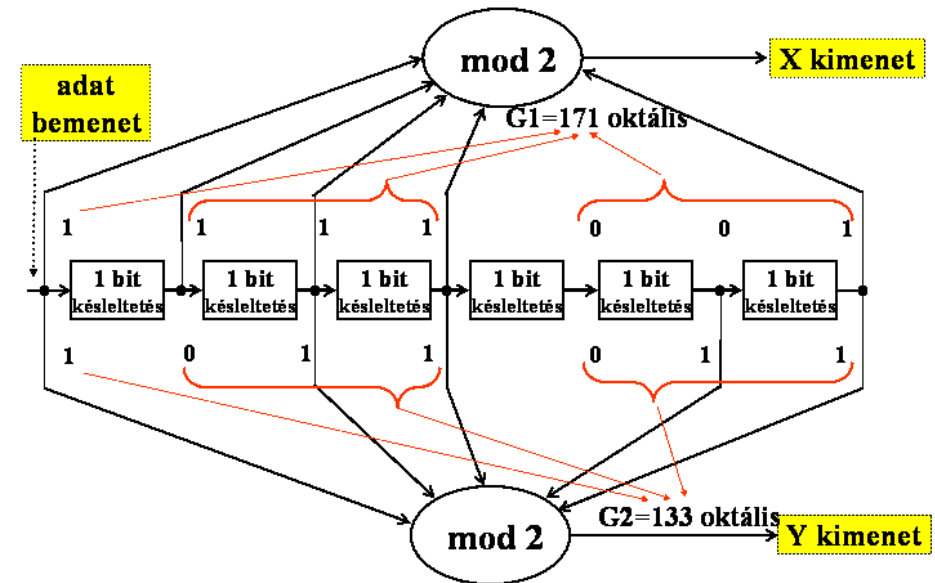
36

Belső hibavédelmi kódolás

- A belső hibavédelmi eljárás a pontozott konvolúciós kódolás
- Többféle pontozott konvolúciós kód alkalmazható
- Valamennyire jellemző, hogy az anyakód 1/2 kódarányú, 7-es kényszerített mélységgel
- Kényszerített mélység: egy kimenő bitet a bemenő bitfolyam hány egymás utáni bitjéből számítjuk ki
- Ennek megfelelően a kimenetet a 6 előző és az aktuális bemenő bit alapján határozzuk meg az anyakóddal
- Az anyakód 1/2-es kódaránya azt jelenti, hogy minden bemenő bithez kettő kimenő bitet állítunk elő (számlálóban a bemenő, a nevezőben a kimenő bitek száma)

37

Az anyakód-generátor felépítése

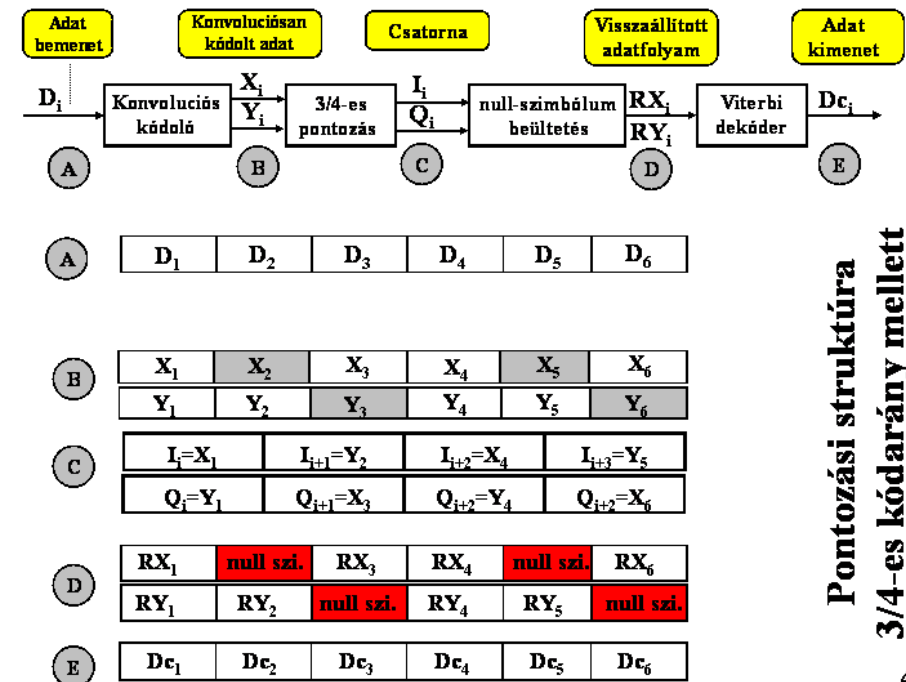


38

- Az anyakód pontozása az a művelet, amellyel kijelöljük azokat a biteket amelyeket ténylegesen továbbítani fogunk
- Az 1/2-es kódarány esetében az anyakód-generátor által szolgáltatott valamennyi bitet továbbítjuk
- Ezenkívül a 2/3, 3/4, 5/6 és 7/8 kódarányok alkalmazhatók

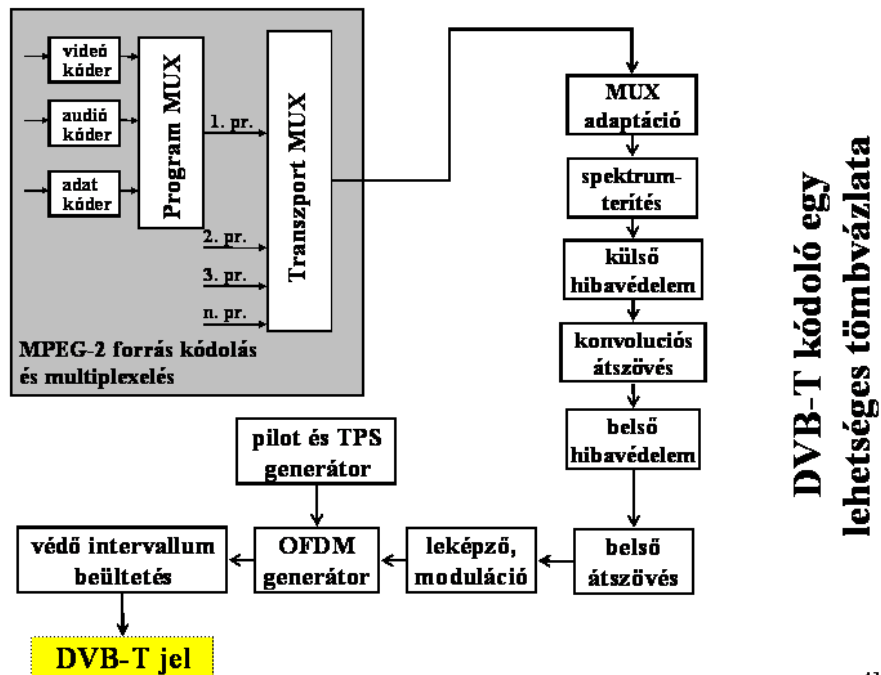
kódarány	pontozási struktúra	adási szekvencia
1/2	X: 1 Y: 1	X_1, Y_1 $I = X_1$ $Q = Y_1$
2/3	X: 1 0 1 0 Y: 1 1 1 1	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_3, Y_4$ $I = X_1, Y_2, Y_3$ $Q = Y_1, X_3, Y_4$
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	X_1, Y_1, Y_2, X_3 $I = X_1, Y_2$ $Q = Y_1, X_3$
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_4, X_5$ $I = X_1, Y_2, Y_4$ $Q = Y_1, X_3, X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, X_5, Y_6, X_7$ $I = X_1, Y_2, Y_4, Y_6$ $Q = Y_1, Y_3, X_5, X_7$

39



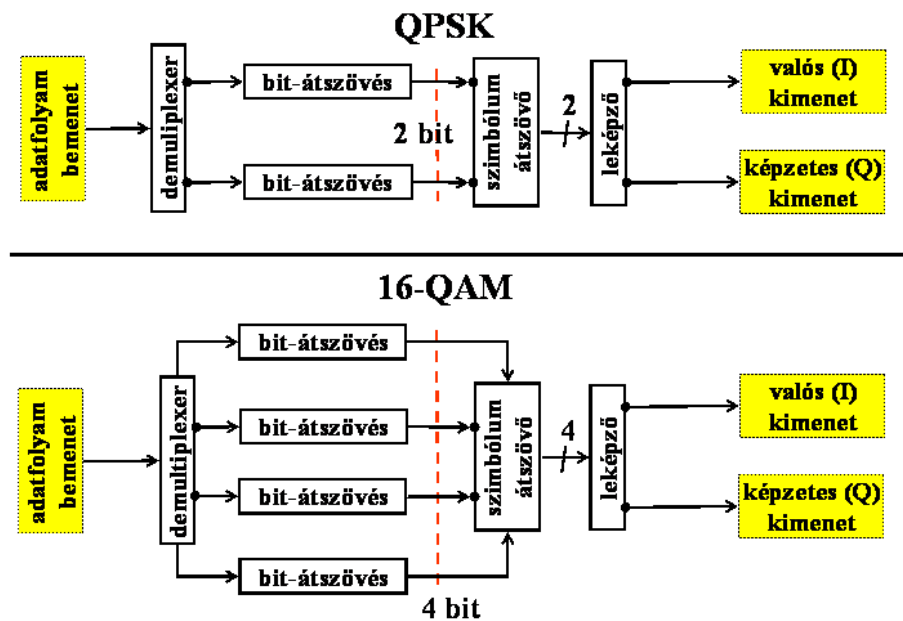
Pontozási struktúra
3/4-es kódarány mellett

40



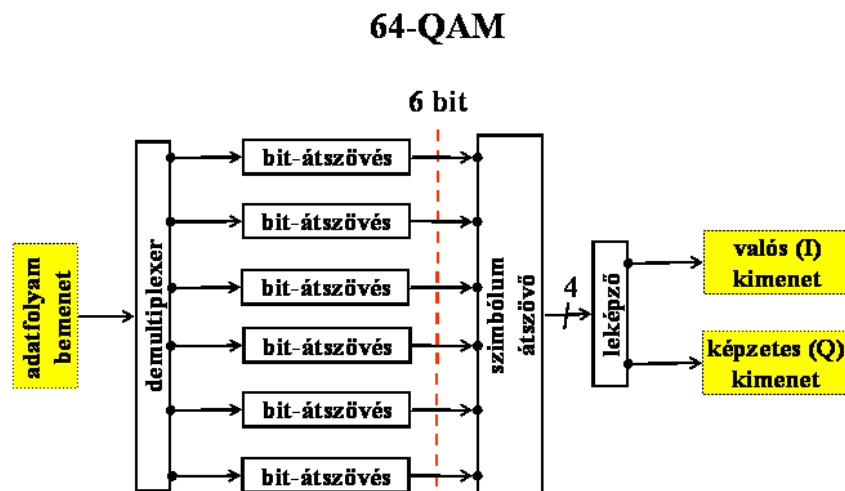
41

Nem-hierarchikus adásmód bit és szimbólum átszövése

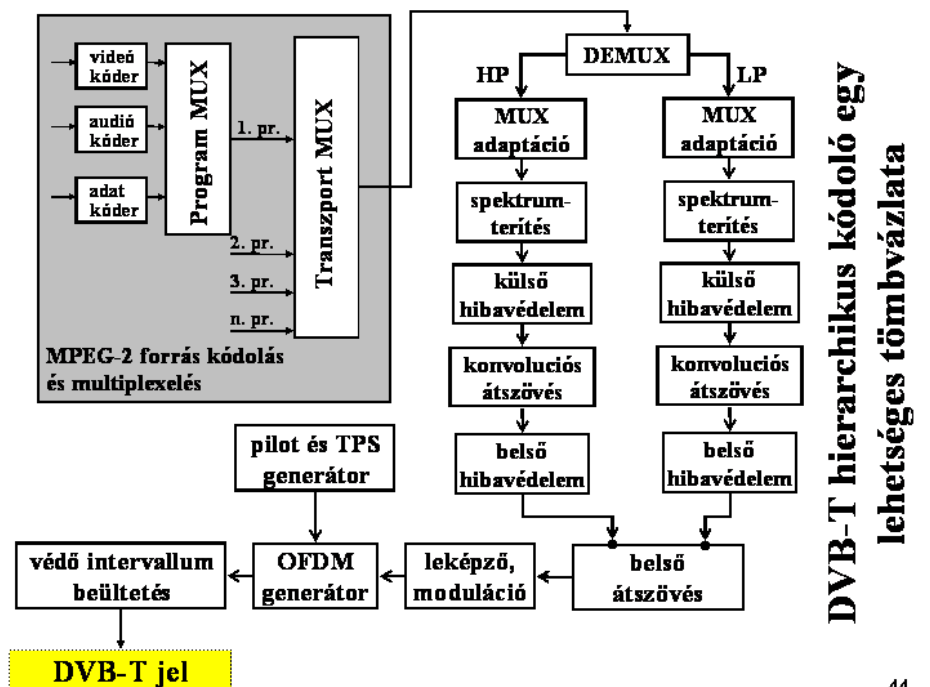


42

Nem-hierarchikus adásmód bit és szimbólum átszövése

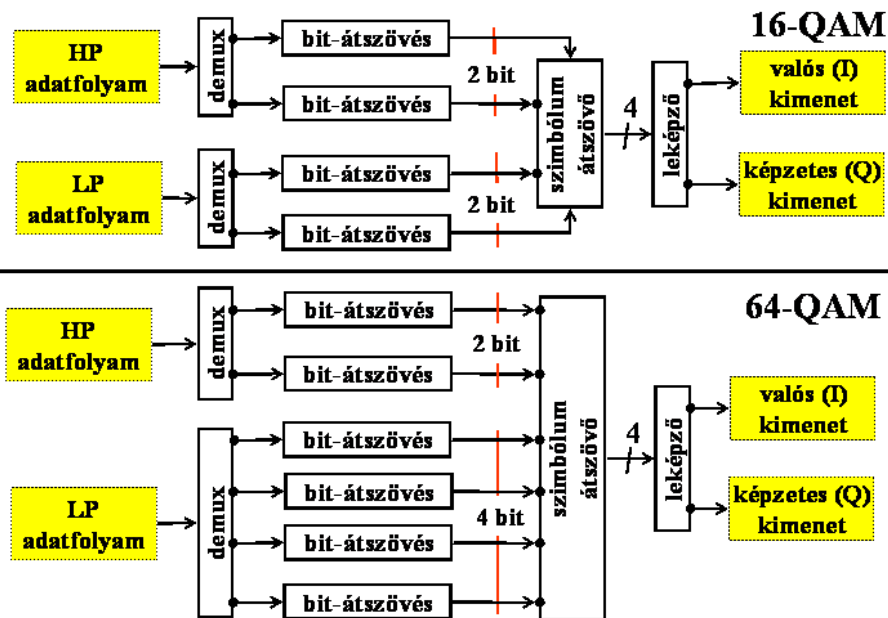


43



44

Hierarchikus adásmód bit- és szimbólum átszövése



45

Bitfolyam demultiplexelés

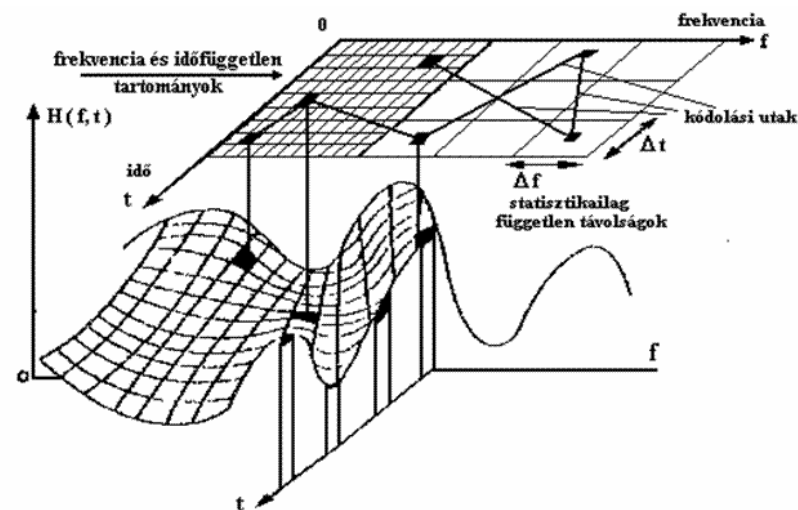
- A bit-átszövés előtt az alkalmazott modulációs módtól függően a bemeneti bitfolyamot 2 (QPSK), 4 (16-QAM), vagy 6 (64-QAM) rész adatfolyamra demultiplexáljuk
- A hierarchikus kódolási módban, két független adatfolyam bemenetünk van
- QPSK esetén nincs hierarchikus modulációs mód
- 16-QAM esetén, mind a kisebb, mind a nagyobb prioritású bitfolyamot két azonos sebességű részfolyamra bontjuk
- 64-QAM esetén a nagyobb prioritásút kettő, a kisebb prioritásút négy részfolyamra bontjuk

46

- Bár az OFDM megoldja a több utas terjedés problémáját, de nem oldja meg a helyi kioltások kialakulásának problémáját
- Emellett a mobilvevő transzfer karakterisztikája hely és idő függő
- A mozgó vevő közel tere szórhatja a fő vivőt is, ami nagyon sok hibát okozhat, ez csak az OFDM-mel nem korrigálható
- Ezért frekvencia és időátszövést kell alkalmazni, ami az átviteli út csomaghíbeit javítható, egyes hibákká alakítja át
- A csatornát az idő és frekvencia tartományban is lehet modellezni, ennek során meg lehet határozni azt a legkisebb idő és frekvencia távolságot, ahol a csatorna viselkedése azonos

47

Frekvencia- és időátszövés vázlatja

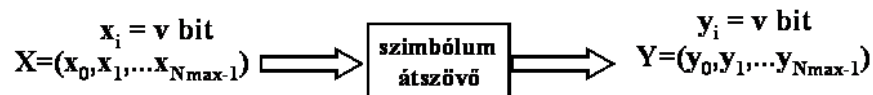


átviteli függvény a frekvencia és az időfüggvényében

Bitátszövés

- Az átszövés az egyes ágakban azonos blokk méretű (126 bit), az átszövési algoritmus azonos
- Részletekbe nem merek bele menni!

Szimbólumátszövés



- Az átszövési szabály a következő:

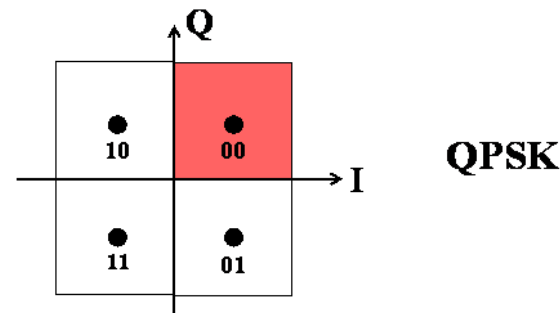
$$Y_{H(i)} = x_i \text{ vagy } y_i = x_{H(i)}, \text{ ahol } i=0,1, \dots, N_{\max} (2k, 8k)$$

- A $H(i)$ permutációs függvény, részleteibe nem merek belemenni, a szabvány rögzíti!
- A szimbólum átszövés eredményeképpen az egymás melletti v bites adatok nem egymás melletti vivőkre kerülnek

49

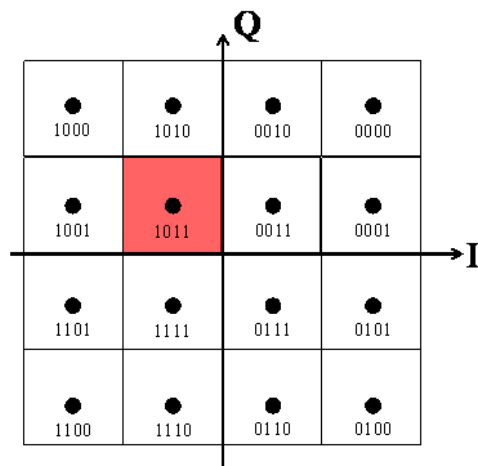
Modulációs leképezés

- Egyetlen OFDM szimbólum valamennyi vivőjén csak azonos modulációs mód használható
- A konstellációs diagram két paramétertől: a modulációs módtól és a hierarchikus moduláció alkalmazásától függ
- Alapvetően háromféle konstellációs diagram

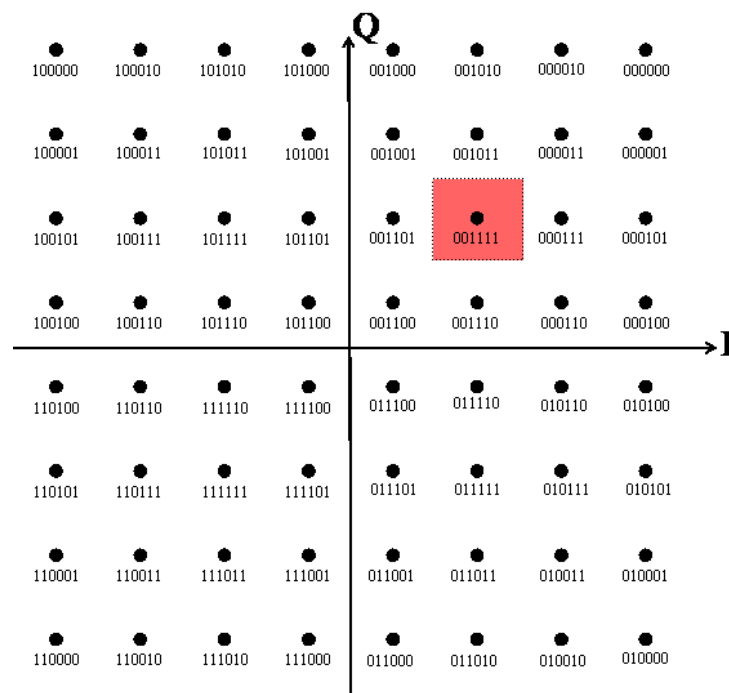


50

Modulációs leképezés 16-QAM



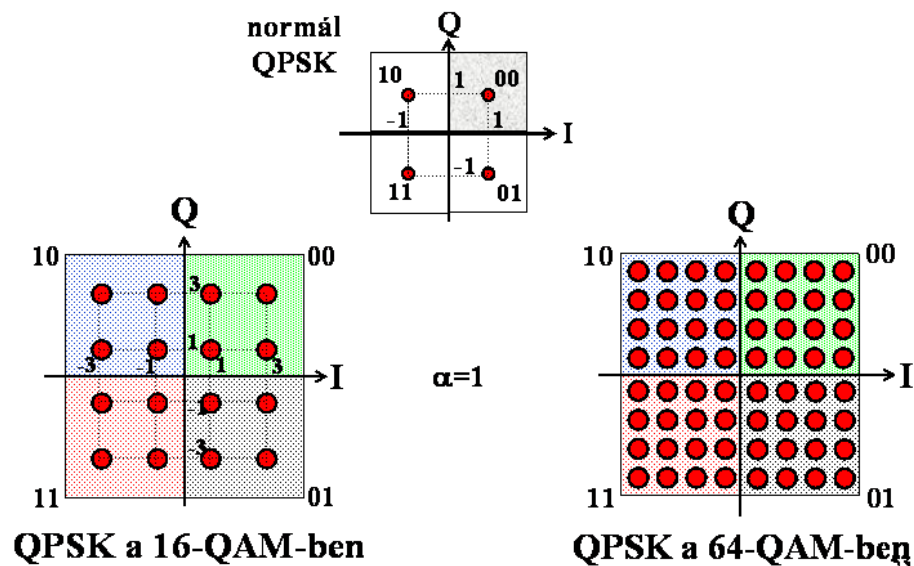
51



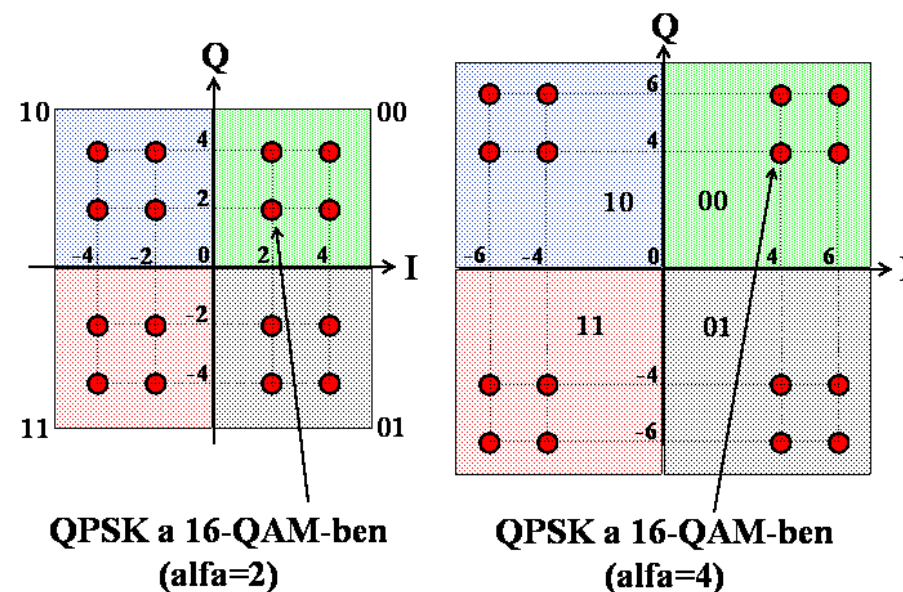
Modulációs leképezés nem
hierarchikus 64-QAM

52

Hierarchikus modulációk

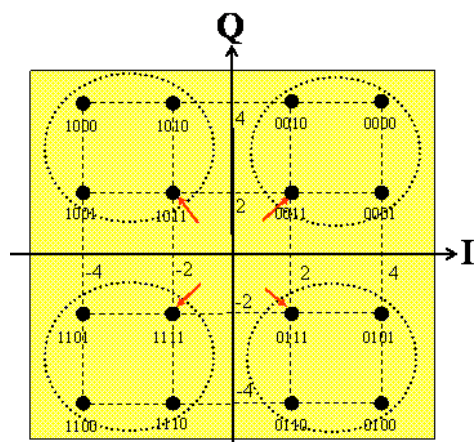


Hierarchikus modulációk



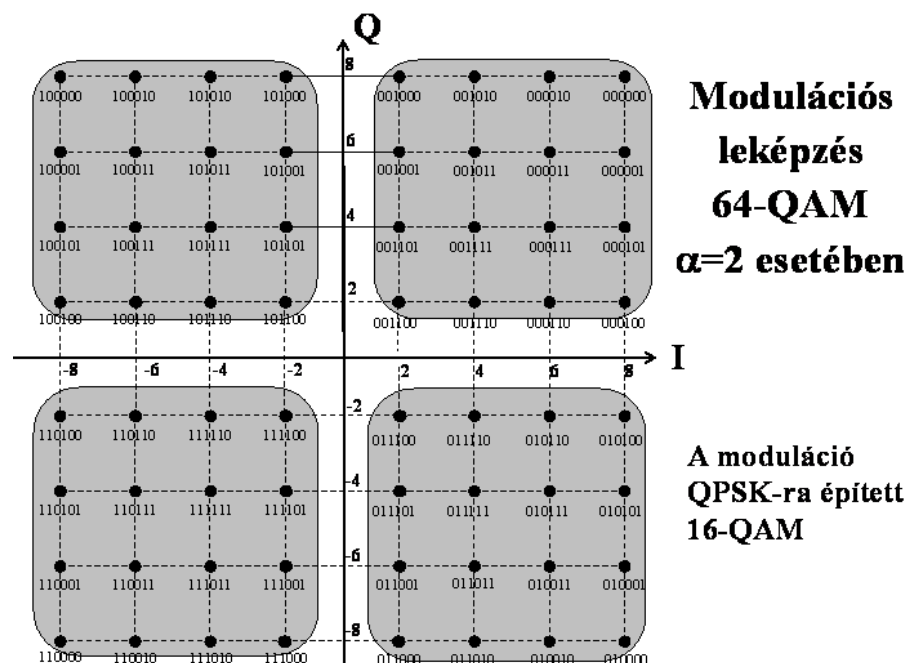
54

Modulációs leképezés 16-QAM $\alpha=2$



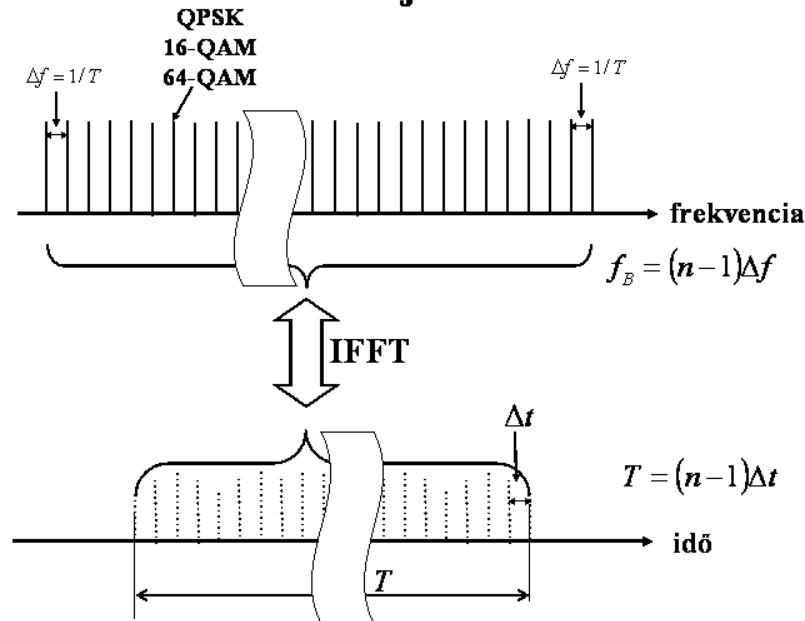
- Az így kialakított konstellációt QPSK módon dekódoljuk, akkor a magas prioritású biteket kapjuk
- Az alacsony prioritású bitek dekódolásához a teljes konstellációt kell vizsgálni, így kapjuk az alacsony prioritású biteket

55



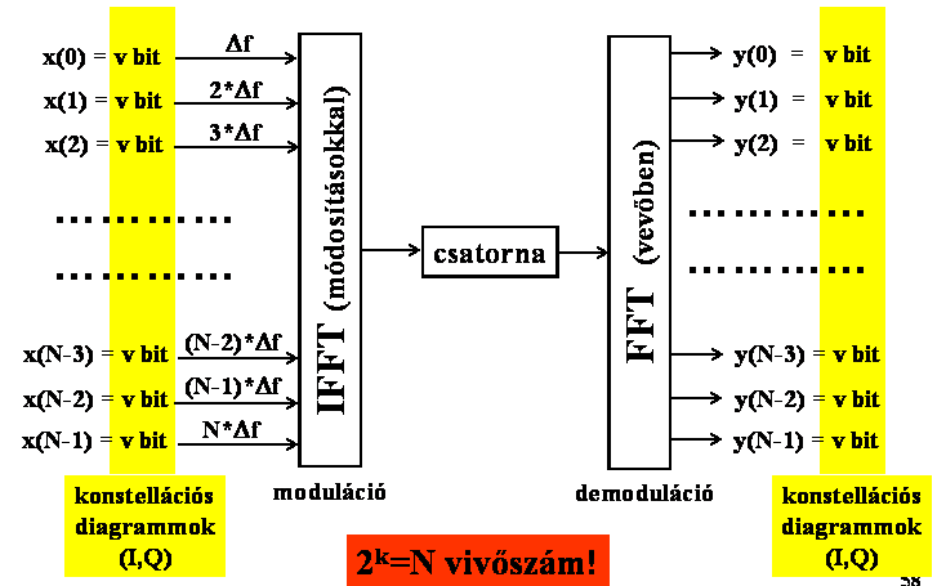
56

Az OFDM jel szerkezete



57
57

Digitális OFDM előállítás (gyakorlat csak ez!)



58

A DVB-T-ben két adásmód definiált: 2k és a 8k mód (adatok magyarázata később!)

Jellemző	"8k mód"	"2k mód"
Tényleges vivők száma	6817	1705
Szimbólum időtartam (T_u)	896 μs	224 μs
Vivő távolság ($1/T_u$)	1116 Hz	4464 Hz
$k_{\max}$ és $k_{\min}$ közötti távolság	7,61 MHz	7,61 MHz

mód	8k mód				2k mód			
Védelmi idő aránya	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Szimbólum idő	896 μs				224 μs			
Védelmi idő (μs)	224	112	56	28	56	28	14	7

59

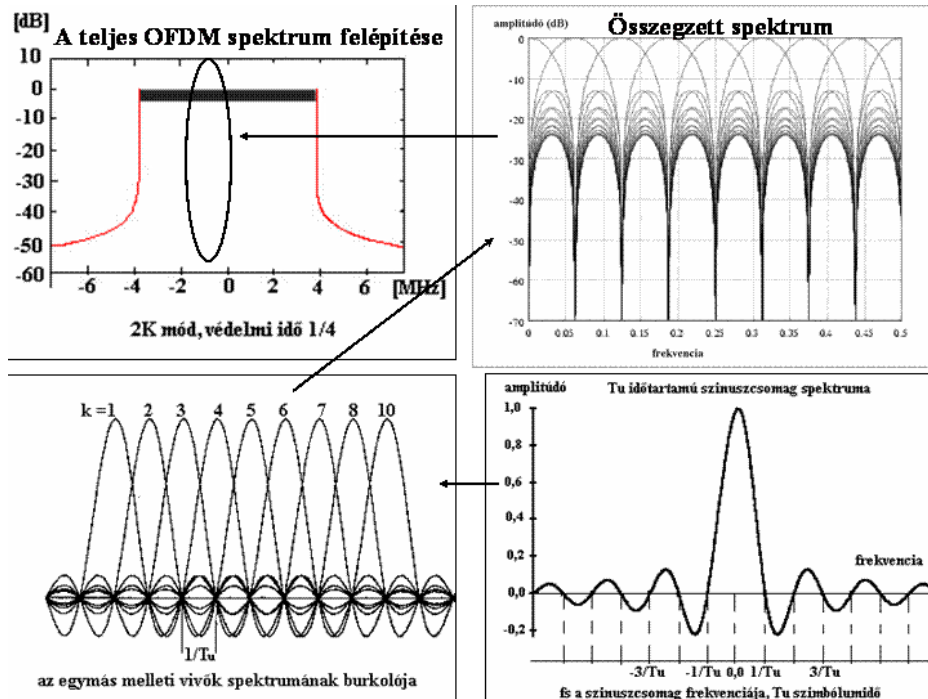
OFDM spektrum jellemzők

- OFDM szimbólum: azonos távolságra lévő vivők összessége
- A vivők amplitúdója és fázisa a szimbólum átszövő kimenő jelének megfelelően szimbólumról, szimbólumra változik
- Jelölje az egyes vivők spektrális teljesítmény sűrűségét: $P_k(f)$
- A hozzátartozó vivőfrekvencia: $f_k = f_c + k'/T_s = f_c + k' \cdot \Delta f$
- f_c a csatorna középfrekvencia, $k' = k - (k_{\max} - k_{\min})/2$, $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$
- Akkor az egyes vivők spektrális teljesítmény sűrűsége:

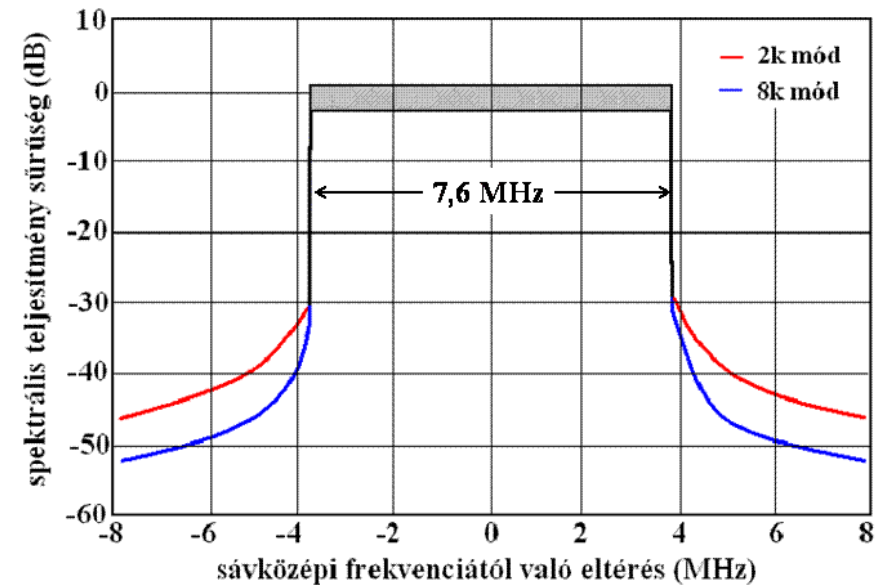
$$P_k(f) = \left[\frac{\sin \pi(f - f_k)T_s}{\pi(f - f_k)T_s} \right]^2$$

- A teljes spektrum ezen elemi spektrumok összege

60



DVB-T 2K/8K mód spektrum



Az OFDM jel időfüggvénye:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j 2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{67} \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\max}} c_{m,l,k} \cdot \Psi_k(t) \right\}$$

- Ahol: $\Psi_k(t) = \begin{cases} e^{j 2\pi k' \Delta f (t - \Delta)} & \text{a saját szimbólum időben} \\ 0 & \text{a különbségi frekvencia} \end{cases}$
- f_c : csatorna középfrekvencia m : az OFDM keret száma
- l : OFDM szimbólum száma k : vivő sorszáma
- $c_{m,l,k}$: m . keret, l . adat szimbólum, k . vivő konstellációja
- k' : középfrekvenciához képesti vivő index: $k' = k - (k_{\max} - k_{\min})/2$
- Δf : vivő távolság Δ : védő intervallum

Az OFDM jel időfüggvénye

- A $c_{m,l,k}$ a normalizált konstellációs érték
- A normalizálási faktorok a következők:

Moduláció		Normalizációs faktor
QPSK		$1/\sqrt{2}$
16-QAM	$\alpha=1$	$1/\sqrt{10}$
16-QAM	$\alpha=2$	$1/\sqrt{20}$
16-QAM	$\alpha=4$	$1/\sqrt{52}$
64-QAM	$\alpha=1$	$1/\sqrt{42}$
64-QAM	$\alpha=2$	$1/\sqrt{60}$
64-QAM	$\alpha=4$	$1/\sqrt{108}$

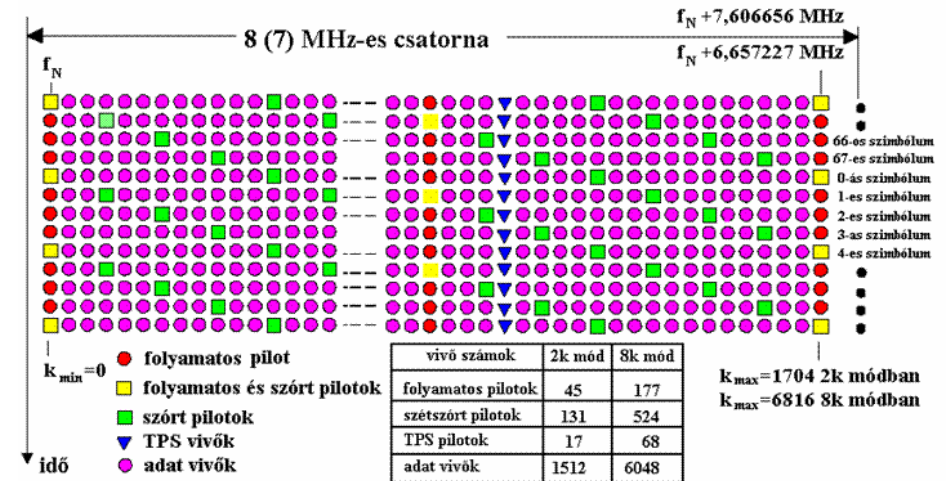
- Az UHF csatornák névleges középfrekvenciája:
(474 + i x 8) MHz, i = 0, 1, 2, 3, ...
- A középfrekvencia jobb spektrum kiosztás végett eltolható

Az OFDM-keret szerkezete

- A kisugárzott OFDM szimbólumokat keretekbe szervezik
- Minden OFDM szimbólum tartalmaz lényeg (videó, audio) adatot és egyéb információt is
- Ez utóbbiakat a referencia vivők (pilotok) hordozzák:
 - szórt pilot vivők (változó frekvencia pozícióban)
 - folytonos pilot vivők (fix frekvencia pozícióban)
 - TPS (Transmission Parameter Signaling) vivők (rögzített frekvencia pozícióban)
- Pozíciójuk előre definiált és ennek megfelelően a vevő ismeri
- A szórt és folyamatos pilotokat magasabb (16/9) teljesítmény szinten továbbítjuk

65

OFDM szimbólum vivő elrendezés



Az OFDM-keret szerkezete

- Az adatot hordozó vivők fogalma egyértelmű
- A spektrum szélein elhelyezkedő vivők jelszintje nulla
- A folytonos pilotjelek konstellációs pontja a valós tengely két oldalán található, az átlagos jelszintnél 2,5 dB-lel nagyobb szinten (lásd később)
- A vevő fázis referenciának és AFC célokra használja

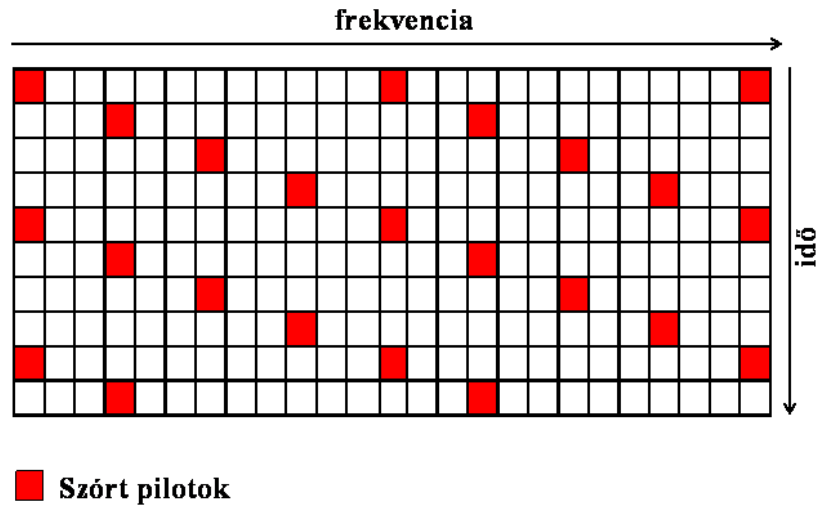
67

Az OFDM-keret szerkezete

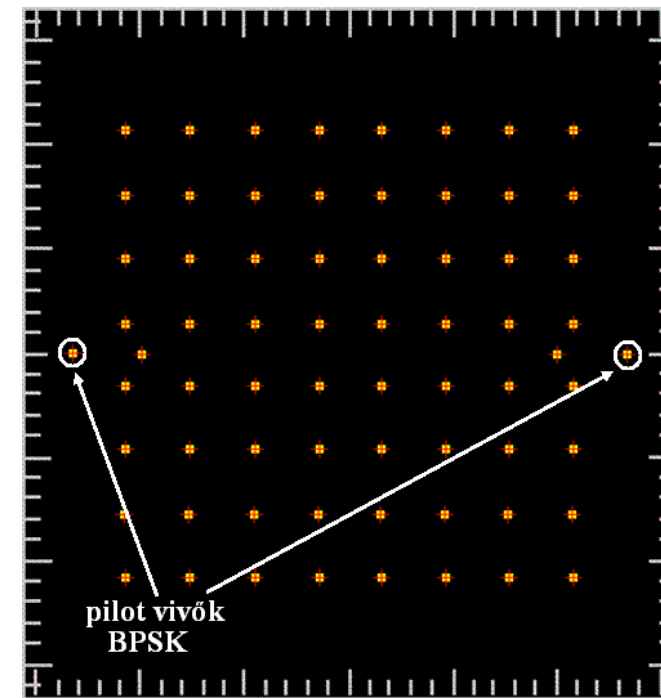
- A szórt pilotok szimbólumonként változtatják pozíciójukat, így végig pásztázzák a teljes spektrumot
- A vevők adaptív csatornakompenzációra használják
- Egy OFDM szimbólum minden 12. vivője szórt pilot, melyek szimbólumonként 3 vivő frekvencia pozícióval tolódnak el
- Egy szórt pilot vivő melletti négy vivőre soha nem esik szórt pilot, azok minden esetben adatot továbbítanak, míg maguk a szórt pilot vivő pozíciók az idő egy részében adatot hordoznak, a fennmaradó időben pedig szórt pilotként szolgálnak
- A szórt pilotok konstellációs pontjai egybe esnek a folytonos pilotok pontjaival

68

Csak a szórt pilotok elhelyezkedése



69



64-QAM konstelláció és a szórt pilotok

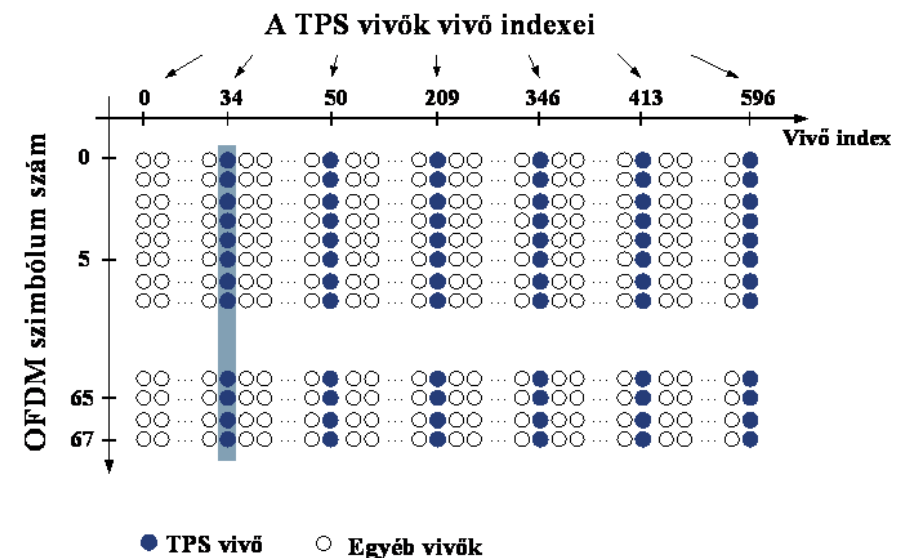
70

Adásparaméterek jelzése (TPS)

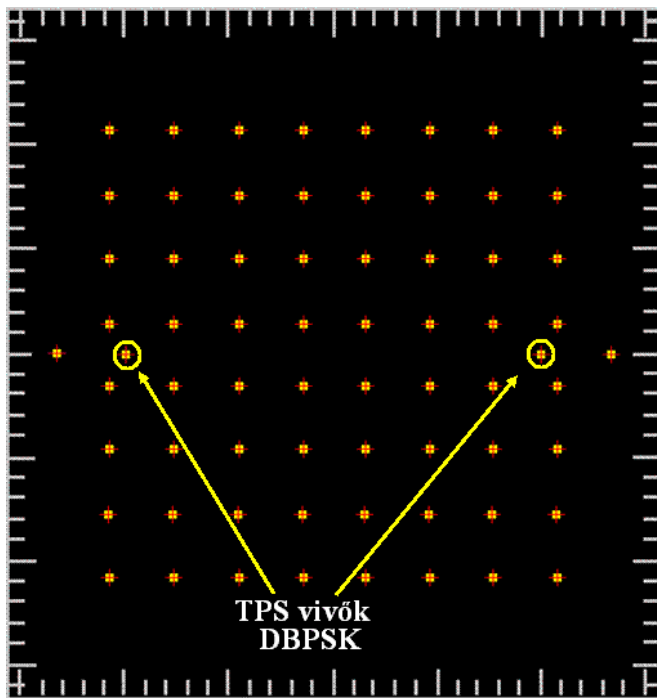
- Az adás paraméterek jelzés rendszere (Transmission Parameter Signalling: TPS) fix frekvencia pozíciója vivők összessége
- E jelzés rendszer hordozza az adás paramétereket
- A moduláció DBPSK (differenciális bináris fázisbillentyűzés)
- A differenciális kódolás azt jelenti, hogy „0” bitnek fázisugrás felel meg, míg „1” esetén nincs fázisváltozás
- A konstellációs pontok a valós tengely két oldalán találhatók
- A TPS vivők teljesítménye megegyezik a normál vivők átlag teljesítmény szintjével
- Szimbólumonként 2K-ban 17, míg 8K-ban 68 TPS vivő

71

TPS pilotok elhelyezkedése



72



64-QAM konstelláció és a TPS vivők

73

Adásparaméterek jelzése

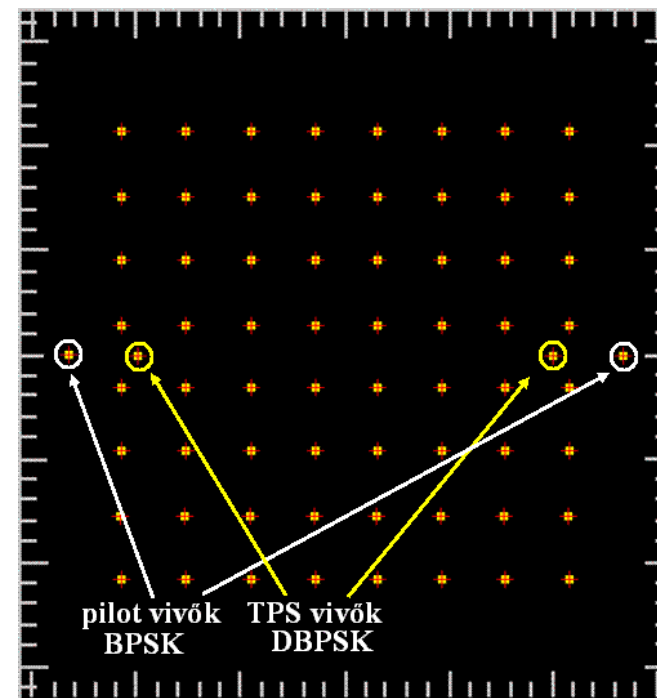
- Egy szimbólumon belül valamennyi TPS vivő ugyanazt az egy információs bitet hordozza
- A vevő egy szimbólumon belüli TPS vivők pillanatnyi fázishelyzetéből többségi döntés elve alapján határoz a fázisról, majd ennek megfelelően végzi a demodulálást
- Az OFDM keret 68 szimbólumának 68 bitje a kódolási egység:
 - 1 inicializáló bit
 - 16 szinkronizációs bit
 - 37 információ bit
 - 14 redundancia bit

74

TPS adat részei

- Modulációs mód (QPSK, 16-QAM és 64-QAM: **2 biten**)
- Hierarchikus moduláció típusa (nem hierarchikus, hierarchikus, $\alpha=1$, $\alpha=2$, $\alpha=4$: **3 biten**)
- Védő időintervallum azonosítás (1/32, 1/16, 1/8 és 1/4: **2 biten**)
- Belső kódolás kódarány jelzése (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 és 7/8: **2 x 3 biten**, LP és HP adatfolyamra külön)
- Adásmód jelzése (2k és 8k: **2 biten**)
- Keretstruktúra azonosítása (**2 biten**)
- Hibavédelem a rövidített BCH (67,53,t=2) **14 paritás bittel**

75



64-QAM konstelláció és a TPS vivők

76

TPS teljes felépítése

Bit sorszáma	Jelentés
S_0	Inicializálás
S_1 – S_{16}	Szinkronszó: 0011010111101110 vagy 1100101000010001
S_{17} – S_{22}	Hosszjelző, kétféle cella információ nélkül, vagy vele
S_{23} , S_{24}	Keret száma
S_{25} , S_{26}	Konstelláció: 00=QPSK 01=16-QAM 10=64-QAM
S_{27} , S_{28} , S_{29}	Hierarchia-információ: 000=nem-hierarchikus kódolás, 001= $\alpha=1$, 010= $\alpha=2$, 011= $\alpha=4$
S_{30} , S_{31} , S_{32}	Magas prioritású adatfolyam kódaránya: 000=1/2, 001=2/3, 010=3/4, 011=5/6, 100=7/8
S_{33} , S_{34} , S_{35}	Alacsony prioritású adatfolyam kódaránya: 000=1/2, 001=2/3, 010=3/4, 011=5/6, 100=7/8
S_{36} , S_{37}	Védelmi idő: 00=1/32, 01=1/16, 10=1/8, 11=1/4
S_{38} , S_{39}	Adásmód: 00=2K, 01=8K
S_{40} – S_{53}	Jövőbeni alkalmazások számára fönntartott bitek, mind „0”
S_{54} – S_{67}	BCH hibavédelmi kód

77

Néhány részlet (kommentár nélkül) Folytonos pilot vivő pozíciók

2k-adásmód	8k-adásmód
0 48 54 87 141 156	0 48 54 87 141 156 192 201 255 279 282 333 432 450 483 525 531
192 201 255 279	618 636 714 759 765 780 804 873 888 918 939 942 969 984 1050 1101
282 333 432 450	1107 1110 1137 1140 1146 1206 1269 1323 1377 1491 1683 1758
483 525 531 618	1791 1845 1860 1896 1905 1959 1983 1986 2037 2136 2154 2187
636 714 759 765	2229 2235 2322 2340 2418 2463 2469 2484 2508 2577 2592 2622
780 804 873 888	2643 2646 2673 2688 2754 2805 2811 2814 2841 2844 2850 2910
918 939 942 969	2973 3027 3081 3195 3387 3408 3456 3462 3495 3549 3564 3600
984 1050 1101	3609 3663 3687 3690 3741 3840 3858 3891 3933 3939 4026 4044
1107 1110 1137	4122 4167 4173 4188 4212 4281 4296 4326 4347 4377 4392 4458
1140 1146 1206	4509 4515 4518 4545 4548 4554 4614 4350 4677 4731 4785 4899
1269 1323 1377	5091 5112 5160 5166 5199 5253 5268 5304 5313 5367 5391 5394
1491 1683 1704	5445 5544 5562 5595 5637 5643 5730 5748 5826 5871 5877 5892
	5916 5985 6000 6030 6051 6054 6081 6096 6162 6213 6219 6222
	6249 6252 6258 6318 6381 6435 6489 6603 6795 6816

78

Néhány részlet TPS pilot vivő pozíciók

2k adásmód	8k adásmód
34 50 209 346 413 569 595	34 50 209 346 413 569 595 688 790 901 1073 1219
688 790 901 1073 1219 1262	1262 1286 1469 1594 1687 1738 1754 1913 2050
1286 1469 1594 1687	2117 2273 2299 2392 2494 2605 2777 2923 2966
	2990 3173 3298 3391 3442 3458 3617 3654 3821 3977
	4003 4096 4198 4309 4881 4627 4670 4694 4877 5002
	5095 5146 5162 5321 5458 5525 5681 5707 5800 5902
	6013 6185 6331 6374 6398 6581 6706 6799

79

DVB-T OFDM vivő funkciók

	2k mód	8k mód
összes vivők száma	1705	6817
szórt pilot vivők száma	142 / 131	568 / 524
folytonos pilot vivők száma	45	177
TPS pilot vivők száma	17	68
adat vivők száma	1512	6048

80

DVB-T alap paramétere

- A 8 MHz-es DVB-T jel legfontosabb paramétere az IFFT mintavételi frekvenciából származtathatók
- Ennek értéke: $64/7 \text{ MHz} = 9,142857143 \text{ MHz}$
- További megfontolásokkal ebből számíthatók 6 és 7 MHz sávszélességű DVB-T jel alap paramétere is
- Az IFFT mintavételi frekvencia tulajdonképpen az időbeli OFDM szimbólumok mintavételi frekvenciája
- Az összes minta adja az OFDM szimbólum időbeli hosszát
- Ezen idő reciproka a szomszédos vivők frekvencia távolsága
- A vivőszám ismeretében a sávszélesség számítható

81

DVB-T alap paramétere

- Az aktív minták száma kisebb mint az IFFT minta száma
- Ezért a DVB-T jel kisebb sávszélességű 8 MHz-nál
- A 8 MHz csatornára tervezett DVB-T jel sávszélessége 7,6 MHz, így a sávszéleken 200 kHz-es kvázi üres rész található, ami jótékony hatású a szomszéd csatorna zavarását illetően
- A 6817/1705 db. aktív vivő pontosan kitölti a fenti 7,6 MHz-es frekvencia tartományt
- A 6 és 7 MHz-es csatornára tervezett DVB-T jel IFFT mintavételi sebessége a 8 MHz-es csatornára tervezett mintavételi sebesség 6/8-a és 7/8-a, konkrétan:
- 7 MHz-es sávszélességre: $64/7 \cdot 7/8 = 8 \text{ MHz}$ és
- 6 MHz-es sávszélességre: $64/7 \cdot 6/8 = 48/7 = 6,857142857 \text{ MHz}$

82

DVB-T alap paramétere

- A 2048 vagy 8192 pontos IFFT eljárás által előállított összes vivő a fenti mintavételi frekvenciáknak megfelelő sávszélességek tölti ki
- A vivők közötti frekvencia távolságot (Δf) megkapjuk, ha az IFFT mintavételi frekvenciát elosztjuk a vivők számával:
- 2k módban: $\Delta f = f_{\text{IFFTmv}} / 2048$
- 8k módban: $\Delta f = f_{\text{IFFTmv}} / 8192$
- Ezzel a DVB-T vivők távolsága a kétféle adásmódban és a háromféle csatorna-sávszélességre a következő:

Csatorna-sávszélesség	Δf a 2k módban	Δf a 8k módban
8 MHz	4464,285714 Hz	1116,071429 Hz
7 MHz	3906,25 Hz	976,5625 Hz
6 MHz	3348,214275 Hz	837,0535714 Hz

83

DVB-T alap paramétere

- A vivő távolságból az ortogonalitási feltétel miatt számítható a szimbólumidő (Δt), ami a Δf reciproka
- Így a különböző adásmódokra és sávszélességekre a szimbólum idők a következők:

csatorna sávszélesség	szimbólum idő 2k módban	szimbólum idő 8k módban
8 MHz	224 μs	896 μs
7 MHz	256 μs	1,024 ms
6 MHz	298,7 μs	1,1947 ms

84

DVB-T alap paramétere

- A teljes szimbólum idő a védő intervallum és a hasznos szimbólum idő összege
- Ami a szimbólum sebesség csökkenésként is értelmezhető

Teljes szimbólumidő = szimbólum idő + védő intervallum [μ s]								
csatorna sávszélesség	2K 1/4	2K 1/8	2K 1/16	2K 1/32	8K 1/4	8K 1/8	8K 1/16	8K 1/32
8 MHz	280	252	238	231	1120	1008	952	924
7 MHz	320	288	272	264	1280	1152	1088	1056
6 MHz	373,3	336	317,3	308	1493,3	1344	1269,3	1232

85

DVB-T alap paramétere

- A DVB-T jel sávszélessége a vivők közötti Δf távolságból és a vivők számából számítható:

$$f_B = (N_{\text{aktív vivő}} - 1) \cdot \Delta f$$

- A DVB-T jel sávszélességei ezzel:

csatorna sávszélesség	f_B 2k módban	f_B 8k módban
8 MHz	7,612 MHz	7,608 MHz
7 MHz	6,661 MHz	6,657 MHz
6 MHz	5,709 MHz	5,706 MHz

86

DVB-T paraméterek (egyéb)

- Elvileg többféleképpen számozhatók a DVB-T vivők:
 - 0 - 2047 2k módban, vagy 0 - 8191 8k módban az IFFT-nek megfelelően ezt azonban a gyakorlatban nem alkalmazzuk
 - 0 - 1704 2k módban, vagy 0 - 6816 8k módban, a gyakorlatban a legtöbb esetben ezt alkalmazzuk
 - a sáv közepi vivőhöz képes pozitív és negatív ofszettel, első sorban matematikai összefüggésekben
- A DVB-T csatorna egyik legfontosabb vivője a sávközépi vivő, melynek indexe 852 (2k) és 3408 (8k)
- A DVB-T modulátor speciális hibái csak e frekvencián mérhetők

87

Energia szintek

- A konstelláció felépítésétől függ a vivők átlagos jelszintje
- Ami tulajdonképpen a vektorhosszak négyzetes középértéke
- Ez az átlag a vonatkoztatási szint (100 %)
- Az adásmódtól függetlenül az adatvivők átlag jelszintje 100 %
- A TPS vivők szintje pontosan ugyanekkora
- A folytonos és szórt pilotok a könnyebb detektálhatóság érdekében 2,5 dB-lel nagyobb szintűek
- Ez az átlaghoz képest 4/3-szoros amplitúdót és 16/9-szeres teljesítményszintet jelent
- Ami $20 \cdot \log(4/3) = 2,5$ dB

88

Energia szintek

- Mérő berendezések a vivő-zajviszonyt (CNR) nem a jel-zajviszonyt (SNR) használják
- Az RF csatornán fellépő zaj által okozott BER azonban az SNR-rel van közvetlen kapcsolatban
- Ezért szükség van a CNR és az SNR közötti átszámításra
- De itt már a pilotjelek energiáját is figyelembe kell venni
- Csak az adatvivők által hordozott energia a teljes energiánál kisebb, a következő korrekciós tényezőknek megfelelően:
- 2k módban: $10\log(1512/(1512+(131+45)\cdot 16/9+17\cdot 1))=0,857$ dB
- 8k módban: $10\log(6048/(6048+(524+177)\cdot 16/9+68\cdot 1))=0,854$ dB

89

DVB-T paraméterek

- A DVB-T csatorna modulációval kapcsolatban a következő paraméterek választhatók:
 - Adás mód, a vivők száma (2k→1705 vivő, 8k→6817 vivő)
 - Védő intervallum hossz (1/4, 1/8, 1/16, 1/32)
 - Vivő moduláció (QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
 - Hierarchikus konstelláció és α modulációs paraméter
 - Belső hibavédelem kódarány (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- Az adatátviteli sebesség a hierarchia szint és az adásmód kivételével a többi paramétertől függ
- A belső kódolás a kódarány mértékétől függően, míg a külső kódolás (188 helyett 204 bájt) fixen növeli a redundanciát

90

DVB-T adatsebesség a következőképpen számítható:

$$R_u = R_s \cdot b \cdot CR_I \cdot CR_{RS} \cdot (T_u / T_s)$$

- R_u : hasznos adatsebesség (Mbit/s)
- R_s : szimbólum sebesség = $(1/T_u)$ x adatvivők száma
- b : bitszám/vivő QPSK=2, 16-QAM=4, 64-QAM=6
- CR_I : belső kódarány (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- CR_{RS} : R-S kódolás kódaránya (188/204)
- T_u : hasznos szimbólumidő
- T_s : teljes szimbólumidő
- T_u/T_s : 4/5, 8/9, 16/17, 32/33

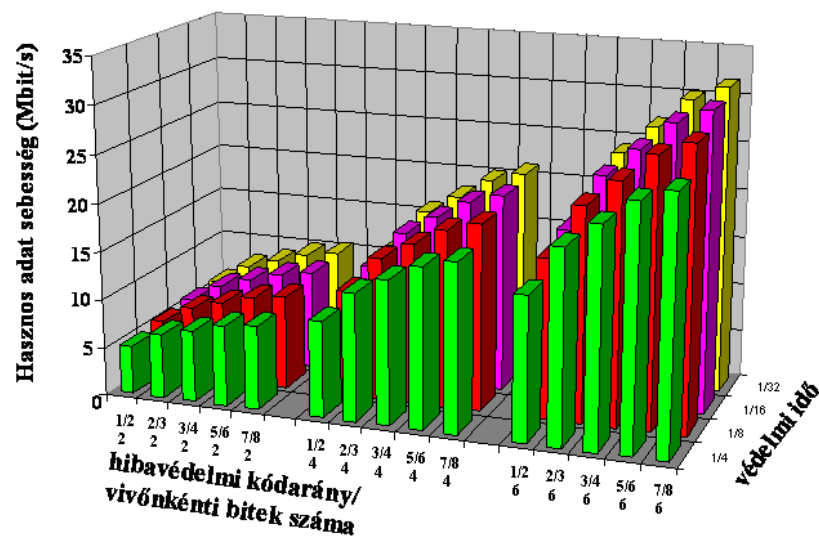
91

Moduláció	Kódarány	Védelmi intervallum			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

DVB-T hasznos adatsebesség (8MHz)
[Mbit/s]

92

DVB-T hasznos adatsebességei (8MHz)



93

Moduláció	Kódarány	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,354412	4,838235	5,122837	5,278075
	2/3	5,805882	6,450980	6,830450	7,037433
	3/4	6,531618	7,257353	7,684256	7,917112
	5/6	7,257353	8,063725	8,538062	8,796791
	7/8	7,620221	8,466912	8,964965	9,236631
16-QAM	1/2	8,708824	9,676471	10,245675	10,556150
	2/3	11,611475	12,901961	13,660900	14,074866
	3/4	13,063235	14,514706	15,368512	15,834225
	5/6	14,514706	16,127451	17,076125	17,593583
	7/8	15,240441	16,933824	17,929931	18,473262
64-QAM	1/2	13,063235	14,514706	15,368512	15,834225
	2/3	17,417647	19,352941	20,491350	21,112300
	3/4	19,594853	21,772059	23,052768	23,751337
	5/6	21,772059	24,191177	25,614187	26,390374
	7/8	22,860662	25,400735	26,894896	27,709893

DVB-T hasznos adatsebesség (7Mz)
pontos értékek (Mbit/s)

95

Moduláció	Kódarány	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,976471	5,529412	5,854671	6,032086
	2/3	6,635294	7,372549	7,806228	8,042781
	3/4	7,464706	8,294118	8,782007	9,048128
	5/6	8,294118	9,215686	9,757785	10,05348
	7/8	8,708824	9,676471	10,24567	10,55617
16-QAM	1/2	9,952941	11,05882	11,70934	12,06417
	2/3	13,27059	14,74510	15,61246	16,08556
	3/4	14,92941	16,58824	17,56401	18,09626
	5/6	16,58824	18,43137	19,51557	20,10695
	7/8	17,41765	19,35294	20,49135	20,11230
64-QAM	1/2	14,92941	16,58824	17,56401	18,0926
	2/3	19,9588	22,11765	23,41869	24,12834
	3/4	22,39412	24,88235	26,34602	27,14439
	5/6	24,88235	27,64706	29,27336	30,16043
	7/8	26,12647	29,02941	30,73702	31,66845

DVB-T hasznos adatsebesség (8Mz)
pontos értékek (Mbit/s)

94

Moduláció	Kódarány	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,732353	4,147059	4,391003	4,524064
	2/3	4,976471	5,529412	5,854671	6,032086
	3/4	5,598529	6,220588	6,586505	6,786096
	5/6	6,220588	6,911765	7,318339	7,540107
	7/8	6,531618	7,257353	7,684256	7,917112
16-QAM	1/2	7,464706	8,294118	7,782007	9,048128
	2/3	9,952941	11,058824	11,709343	12,064171
	3/4	11,19706	12,441177	13,173010	13,572193
	5/6	12,44118	13,823529	14,636678	15,080214
	7/8	13,06323	14,514706	15,368512	15,834225
64-QAM	1/2	11,19705	12,441177	13,173010	13,572193
	2/3	14,92941	16,588235	17,564014	18,096257
	3/4	16,79558	18,661765	19,759516	20,358289
	5/6	18,66176	20,735294	21,955017	22,620421
	7/8	19,59485	21,772059	23,052768	23,751337

DVB-T hasznos adatsebesség (6Mz)
pontos értékek (Mbit/s)

96

Néhány következtetés

- A nettó bitsebesség a belső hibavédelem kódarányának növelésével, rövidebb védő intervallum és magasabb vivő moduláció alkalmazásával egyaránt növelhető
- Ez azt jelenti, hogy magasabb adatsebesség csak a hibavédelem mértékének csökkentése árán érhető el
- A legkisebb bitsebesség (4,98 Mbit/s) a legjobban védett átvitelhez tartozik (védő intervallum=1/4, belső kódarány=1/2, QPSK)
- A következő táblázat a DVB-T módok másik jellemzőjét, a QEF vételhez tartozó vivő-zajviszonyt tartalmazza a konstelláció, a kódarány, a védő intervallum hossza és a DVB-T specifikációjában szereplő csatornaprofilok függvényében

97

a QEF-hez szükséges C/N (dB)				
moduláció	kódarány	Gauss	Ricean	Rayleing
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8,0	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13,0	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15,0	22,8
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18,0	18,6	21,7
	5/6	19,3	20,0	25,3
	7/8	20,1	21,0	27,9

A DVB-T QEF vételéhez, az egyes csatorna modellek esetében szükséges vivő-zajviszony

98

- **Ricean csatorna:** egy domináns jel, alacsonyabb szintű késleltetett jelek és termikus zaj van a vevő bemenetén, a késleltetett jelek SFN hálózatban egy másik adótól vagy visszaverődésből érkehetnek, **állandóhelyű** vételre jellemző
- **Rayleigh csatorna:** sok egymástól statisztikusan független különböző késleltetésű jel, nincs domináns, nagy eltérés a vett jelben a több utas terjedés miatt, alacsony vételi magasságnál, **beépített területeken, épületen belüli** vételre jellemző
- **Mobil csatorna:** megfelel a Rayleigh-nek, de a mozgó vevőkészülék Doppler effektusa miatt a jármű sebessége alapvetően befolyásolja, kritikus a tervezett maximális mozgási sebesség, jellemző a tárgyról, a talajról a visszaverődés
- **Gauss csatorna:** nincs késleltetett jel, csak termikus zaj van

99

Hordozható vételre Rayleigh csatorna modell:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-j2\pi\alpha_i} \cdot x(t - \tau_i)$$

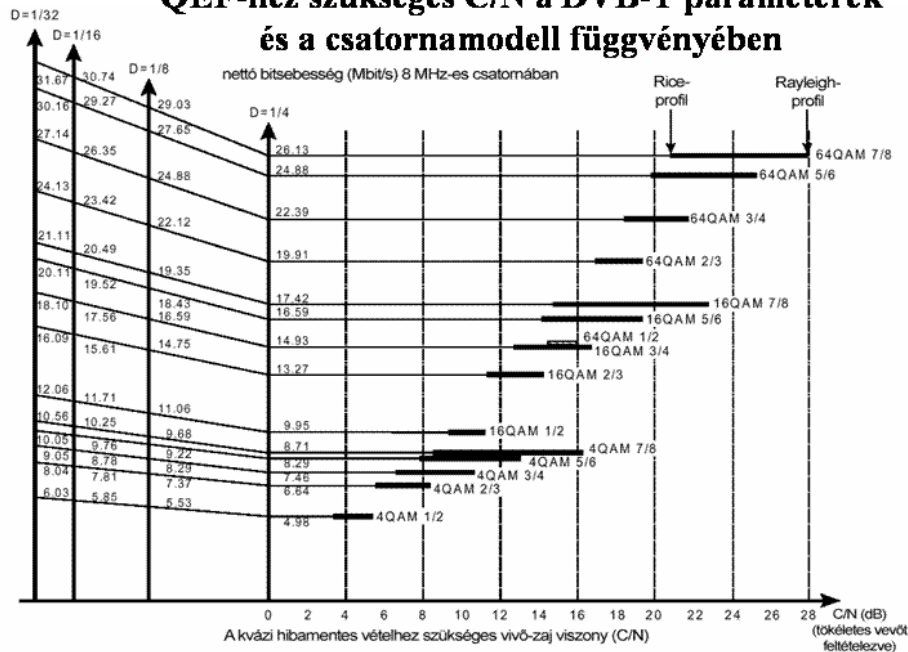
Tetőantennás vételre Ricean csatorna modell:

$$y(t) = \frac{a_0 \cdot x(t) + \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-j2\pi\alpha_i} \cdot x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N a_i^2}}$$

- $y(t)$: a vevő bemenő jele $x(t)$: az adó kimenő jel
- $a_0 \cdot x(t)$: a közvetlen jel N : a reflexiók száma
- a_i : az i. út csillapítása α_i : az i. út fázistolása
- τ_i : az i. út késleltetése

100

QEF-hez szükséges C/N a DVB-T paraméterek és a csatornamodell függvényében



DVB-T csatorna szám (MPEG-2)

- A DVB-T a 4,98 – 31,67 Mbit/s adatsebesség tartományban számos szolgáltatás konfiguráció kialakítását teszi lehetővé
- Egy szolgáltatás tervezésekor rendelkezni kell a szolgáltatás típusától függő adatsebességre vonatkozó elképzelésekkel
- Mivel az MPEG-2 videó kódolás által okozott képminőség romlás mibenléte teljesen eltér az analóg rendszerek által okozott képminőség romlástól, ezért a képminőségre vonatkozó pontos bitsebesség értékek meghatározása nem egyértelmű
- Általában azt mondhatjuk, hogy a nem kritikus programok 3-4,5 Mbit/s adatsebesség mellett különösebben észrevehető képminőség romlás nélkül továbbíthatók

102

DVB-T csatorna szám (MPEG-2)

- Kritikus esetben akár 6 Mbit/s adatsebességre is szükség lehet
- Ezért tételezzük fel a következőket:
 - egy SDTV videó csatorna adatsebesség igénye legyen 4 Mbit/s
 - egy Hifi sztereó audió csatorna adatsebessége legyen 200 kbit/s
 - 500 kbit/s-ot tartsunk fel az SI, PSI és EPG céljaira
- Határozzuk meg a DVB-T adásmódokban a fenti feltételek mellett továbbítható videó és audió csatornák számát
- 1 videó csatornához 1 sztereó audió csatornát kapcsolunk

103

DVB-T csatorna szám (MPEG-2)

Moduláció	Kódarány	Védelmi intervallum			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/4	1 csat + 0,56 Mb/s	1 csat + 1,13 Mb/s	1 csat + 1,45 Mb/s	1 csat + 1,63 Mb/s
	2/3	1 csat + 2,24 Mb/s	1 csat + 2,97 Mb/s	1 csat + 3,41 Mb/s	1 csat + 3,64 Mb/s
	3/4	1 csat + 2,24 Mb/s	1 csat + 3,89 Mb/s	2 csat + 0,18 Mb/s	2 csat + 0,45 Mb/s
	5/6	1 csat + 3,89 Mb/s	2 csat + 0,62 Mb/s	2 csat + 1,16 Mb/s	2 csat + 1,45 Mb/s
	7/8	2 csat + 0,11 Mb/s	2 csat + 1,08 Mb/s	2 csat + 1,65 Mb/s	2 csat + 1,96 Mb/s
16-QAM	1/4	2 csat + 1,35 Mb/s	2 csat + 2,46 Mb/s	2 csat + 3,11 Mb/s	2 csat + 3,46 Mb/s
	2/3	3 csat + 0,47 Mb/s	3 csat + 1,95 Mb/s	3 csat + 2,81 Mb/s	3 csat + 3,29 Mb/s
	3/4	3 csat + 2,13 Mb/s	3 csat + 3,79 Mb/s	4 csat + 0,56 Mb/s	4 csat + 1,10 Mb/s
	5/6	3 csat + 3,79 Mb/s	4 csat + 1,43 Mb/s	4 csat + 2,52 Mb/s	4 csat + 3,11 Mb/s
	7/8	4 csat + 0,42 Mb/s	4 csat + 2,35 Mb/s	4 csat + 3,49 Mb/s	5 csat
64-QAM	1/4	2 csat + 1,13 Mb/s	3 csat + 3,79 Mb/s	4 csat + 0,56 Mb/s	4 csat + 1,10 Mb/s
	2/3	4 csat + 2,91 Mb/s	5 csat + 0,88 Mb/s	5 csat + 2,22 Mb/s	5 csat + 2,93 Mb/s
	3/4	5 csat + 1,19 Mb/s	5 csat + 3,68 Mb/s	6 csat + 0,95 Mb/s	6 csat + 1,74 Mb/s
	5/6	5 csat + 3,68 Mb/s	6 csat + 2,25 Mb/s	6 csat + 3,87 Mb/s	7 csat + 0,56 Mb/s
	7/8	6 csat + 0,73 Mb/s	6 csat + 3,63 Mb/s	7 csat + 1,14 Mb/s	7 csat + 2,07 Mb/s

104

DVB-T csatorna szám (AVC: 2Mbit/s)

Moduláció	Kódarány	Védelmi intervallum			
		¼	1/8	1/16	1/32
QPSK	¼	2 csat + 0,56 Mb/s	2 csat+1,13 Mb/s	2 csat+1,45 Mb/s	2 csat+1,63 Mb/s
	2/3	3 csat + 0,24 Mb/s	3 csat+0,97 Mb/s	3 csat+1,41 Mb/s	3 csat+1,64 Mb/s
	¾	3 csat + 1,24 Mb/s	3 csat+1,89 Mb/s	4 csat+0,18 Mb/s	4 csat+0,45 Mb/s
	5/6	3 csat + 1,89 Mb/s	4 csat+0,62 Mb/s	4 csat+1,16 Mb/s	4 csat+1,45 Mb/s
	7/8	4 csat + 0,11 Mb/s	4 csat+1,08 Mb/s	4 csat+1,65 Mb/s	4 csat+1,96 Mb/s
16-QAM	¼	4 csat + 1,35 Mb/s	5 csat+0,46 Mb/s	5 csat+1,11 Mb/s	5 csat+1,46 Mb/s
	2/3	6 csat + 0,47 Mb/s	6 csat+1,95 Mb/s	7 csat+0,81 Mb/s	7 csat+1,29 Mb/s
	¾	7 csat + 0,13 Mb/s	7 csat+1,79 Mb/s	8 csat+0,56 Mb/s	8 csat+1,10 Mb/s
	5/6	7 csat + 1,79 Mb/s	8 csat+1,43 Mb/s	9 csat+0,52 Mb/s	9 csat+1,11 Mb/s
	7/8	8 csat + 0,42 Mb/s	9 csat+0,35 Mb/s	9 csat+1,49 Mb/s	10 csat
64-QAM	¼	6 csat+1,13 Mb/s	7 csat+1,79 Mb/s	8 csat+0,56 Mb/s	8 csat+1,10 Mb/s
	2/3	9 csat+0,91 Mb/s	10 csat+0,88 Mb/s	11 csat+0,22 Mb/s	11 csat+0,93 Mb/s
	¾	10 csat+1,19 Mb/s	11 csat+1,68 Mb/s	12 csat+0,95 Mb/s	12 csat+1,74 Mb/s
	5/6	11 csat+1,68 Mb/s	13 csat+0,25 Mb/s	13 csat+1,87 Mb/s	14 csat+0,56 Mb/s
	7/8	12 csat+0,73 Mb/s	13 csat+1,63 Mb/s	14 csat+1,14 Mb/s	15 csat+0,07 Mb/s

105

Néhány DVB-T üzemmód Európában

	FFT	Moduláció	Kódarány	Védő idő	Adatsebesség (Mbit/s)
Anglia	2K	64-QAM	2/3	1/32	24,13
Svédország	8K	64-QAM	2/3	1/8	22
Spanyolország országos SFN	8K	64-QAM	2/3	1/4	19,91
Spanyolország tartományi SFN	8K	64-QAM	2/3	1/32	24,13
Finnország	8K	64-QAM	2/3	1/8	22

106

DVB-T hálózatok

- Kétféle lehetőség:
 - MFN (Multi Frequency Network), ahol minden adó különböző frekvencián sugároz
 - SFN (Single Frequency Network), ahol az adók azonos frekvencián sugároznak

107

108

MFN hálózat

- Független programjeleket sugárzó, egyedi frekvenciájú adókból: többfrekvenciás hálózat (MFN)
- Az adók ellátott területének nagyságát csak az adó saját teljesítménye, effektív antennamagassága, stb. határozza meg, de nem befolyásolja a hálózat többi adójának sajátossága
- Az MFN tervezésére a „konvencionális tervezés” terminológiát használják, néhány megszorítással
- Feltételezve, hogy a digitális állomások nagy része az analóg telephelyeket használja fel (az MFN egyik előnye), következik a közel azonos antenna magasság, bár a teljesítmény többnyire alacsonyabb

109

MFN hálózat

- A kisebb ERP alkalmazását az teszi lehetővé, hogy az előírt minimális térerősség digitális esetben általában kisebb
- De kisebb ERP használandó az analóg adók védelme miatt is
- A digitális MFN hálózatban a frekvencia csatorna újrafelhasználási távolság kisebb, mint analógban
- E kisebb távolság kapacitás növekedést eredményezhet a spektrumfelhasználásban
- MFN digitális adók sok esetben az analóggal szomszédos csatornákon sugározzák a digitális műsort
- Mivel azonos telephelyről, alacsonyabb ERP-vel történik a sugárzás, az interferencia kockázata alacsony

110

MFN hálózat

- Nagy terület DVB-T jellel történő ellátásához bizonyos számú RF csatorna szükséges
- A szükséges RF csatornák száma az elvárt robusztusságtól, az alkalmazott csatornakódolástól, a kódolási aránytól, illetve a tervezés és szolgáltatás céljától függ
- Azt gondolhatnók, hogy a DVB-T-hez szükséges RF csatornák száma lényegesen kisebb, mint analóg esetben
- Sajnos a digitális jelek vétele küszöb hatású
- Ezért csak tisztán az analóg esetén alkalmazott tervezési szabályok használata problematikus lehet
- A helyi vagy regionális szolgáltatások MFN-ben lehetségesek

111

Egyfrekvenciás hálózatok (SFN)

- Ha nagy vagy közepes területet ugyanazzal a műsorcsomaggal kell ellátni, lehetőség van arra, hogy az ehhez szükséges adók mindegyike ugyanazt a frekvenciát használja
- Az ilyen hálózatot SFN hálózatnak nevezzük
- SFN hálózatban az összes adó szinkronizált módon ugyanazzal a jellel modulált, és ugyanazon a frekvencián sugároz
- Az SFN hálózat adói között teljes szinkronizáció szükséges
- Ez a hálózat üzemeltetését bonyolultabbá teszi
- Az SFN hálózatok előnye, hogy nagy területek besugárzásánál jelentős spektrum megtakarítást eredményezhet
- További előny, hogy a kisebb teljesítményű sok adó miatt egyenletesebb térerő eloszlás biztosítható

112

Egyfrekvenciás hálózatok

- Az SFN korlátozó tényezője a hálózatban tapasztalható úgynevezett ön-interferencia
- Ha a távoli adókból származó jelek a védő intervallum által megengedettnél nagyobb mértékben késleltetettek, akkor ennek eredménye szimbólum közti áthallás
- Ráadásul e távoli jelek erőssége az idővel változó terjedési feltételektől függ
- Adott adótávolságok esetében fellépő öninterferencia csökkenthető nagyobb védő intervallum alkalmazásával
- A védő intervallumnál nagyobb késleltetést szenvedő jelek hatása természetesen függ a vevő felépítésétől is (de további részletekre nem térünk ki)

113

Egyfrekvenciás hálózatok

- Általános szabályként kimondható, hogy az öninterferencia elfogadható szintre csökkentéséhez a védő intervallumnak akkorának kell lennie, hogy az alatt a két adó közötti távolságot az RF jel biztosan képes legyen megtenni
- Annak érdekében, hogy védő intervallum által okozott kapacitás kiesés ne legyen túl magas a hasznos szimbólum időnek megfelelően hosszúnak kell lennie
- Ez az oka annak, hogy a legtöbb már beindított szolgáltatással rendelkező ország (Anglia kivételével mindenki) a 8K módot használja, ahol a szimbólum idő négyszer nagyobb mint a 2K módban

114

SFN hálózatok fajtái

- Nagy terület besugárzására számos elméleti SFN kialakítási lehetőség van, bár ezek között a gyakorlati különbség minimális
- Talán a legfontosabb eltérés az adók közötti távolság
- Az egyik szélsőséges eset, amikor a hálózat alapját a meglévő analóg hálózat telephelyei képezik pl. 80 km-es adótávolságokkal
- A másik szélsőséges eset a „sűrű hálózat” kb. 10-20 km-es adótelephely-távolság kiosztással
- A valóságos hálózatokban többnyire mindkét esetből találhatók elemek

115

SFN hálózatok fajtái

- Pl. az analóg hálózatra épülő SFN hálózatban az ellátatlan területekre ismétlődő állomásokat lehet telepíteni, melyek többnyire kis távolságra helyezkednek el egymástól
- Vagy megfordítva, egy sűrű hálózaton belül is lehetnek olyan területi lyukak, ahol pl. a népsűrűség alacsony ahhoz, hogy gazdaságosan működtethető legyen az ilyen típusú hálózat
- Az SFN nem csak nagy terület besugárzására használható
- Sűrűn lakott városi környezetben is alkalmazható, pl. hordozható vételhez egyenletes jelszint biztosítása érdekében
- Az egyes városokban SFN hálózatok üzemeltethetők amellet, hogy az országos besugárzást MFN alapon végzik

116

Nagykiterjedésű SFN

- A nagykiterjedésű SFN kettő vagy több nagyteljesítményű adóból áll, de számos közepes vagy kisteljesítményű adót is tartalmazhat
- A besugárzott terület több száz km átmérőjű is lehet
- Ez adja a leghatékonyabb spektrum kihasználást

Mini SFN

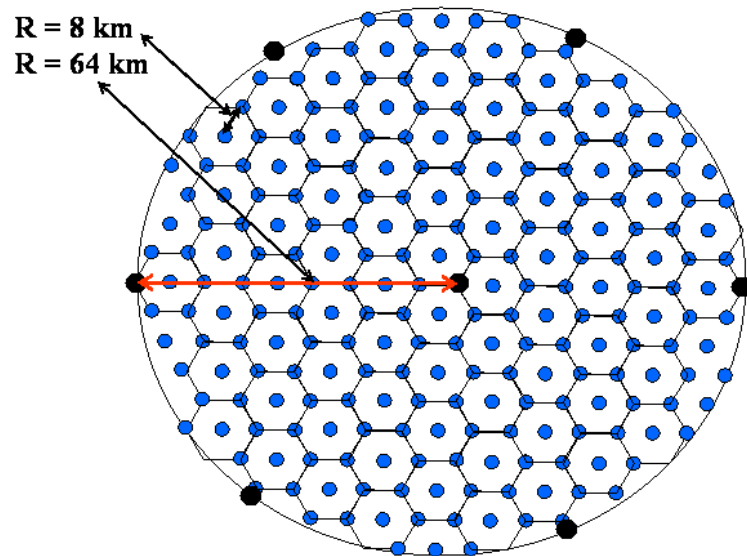
- 1 nagyteljesítményű adó több kisteljesítményű adóval
- A csatorna kihasználtság és a térerősség eloszlás szempontjából optimális megoldásnak tekinthető

117

„Sűrű” SFN hálózat

- Sok kisteljesítményű szinkronizált adó, szabályos hálóban
- Egyenletes térerősség eloszlás biztosítható
- Kisebb a káros zavarás a szomszédos hálózatokban
- A besugárzási terület könnyen és rugalmasan növelhető
- Az egyenletes eloszlás miatt a hordozható vétel számára előnyös
- A kisteljesítményű adók beruházási költsége kisebb
- A hálózat mégis drágább a hagyományoshoz viszonyítva, hiszen nagyszámú adót kell telepíteni

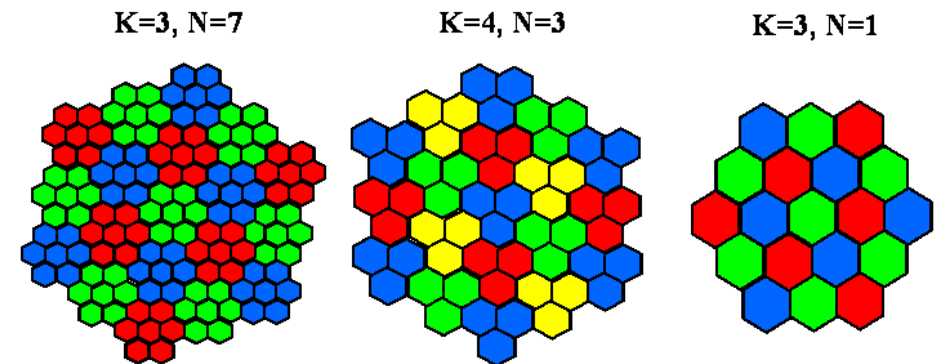
118



- Ha az adótávolság 64 km, akkor 7 adóra van szükség
- Ha az adótávolság 8 km, akkor kb. 240 adóra van szükség

119

SFN hálózati struktúrák



N: SFN adók száma

K: a frekvenciák száma

120

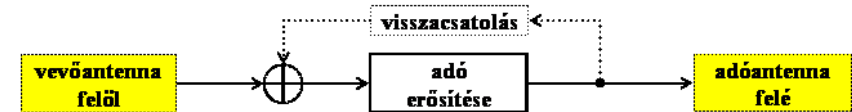
MFN-adók környezetében SFN

- A meglévő adó-infrastruktúrára épülő MFN hálózatban igen fontos lehet SFN működési mód alkalmazása, mivel ezáltal további frekvenciák kiosztása nélkül a lefedettség és a mobilvétel fokozatosan javítható
- Egy fő adó körül további közepes és kis teljesítményű SFN adókat telepítve helyi SFN hálózat alakítható ki
- Az ilyen típusú hálózatok kialakításához a 8k adásmódot célszerű használni, kivéve, ha az adók távolsága nem haladja meg a 15 km-t, ekkor ugyanis használható a 2k mód is

121

Kitöltő adó (Gap Filler)

- A szolgáltatási területnek általában vannak el nem látott részei (mély völgyekben, alagutakban, épületen belül)
- Az el nem látott területek hatékonyan lefedhetők kitöltő adók telepítésével, további modulációs elosztási költségek nélkül



- A lefedett területen a DVB-T jelet egy irányított antenna veszi
- Szűrés és erősítés után a jel (ugyanazon a frekvencián) kisugárzásra kerül a lefedetlen terület irányába
- A kitöltő adó alkalmazásának előfeltétele az adó- és vevőantenna megfelelő izolációja

122

SFN frekvenciahatékonyság

- Az SFN technikával egyetlen frekvencia csatorna alkalmazásával nagy területet lehet besugározni
- Így a frekvenciahatékonyság MFN hálózattal összehasonlítva igen magasnak tűnik
- Azonban figyelembe véve, hogy az egymással szomszédos területeken eltérő programokat sugárzó hasonló hálózatok lehetnek jelen, további csatornákra is szükség van
- A nemzetközi koordináció biztosításához minimum négy csatorna kell, azonban a gyakorlatban öt vagy hat ilyen csatornára lesz szükség az országos SFN-hez (országá válogatja)

123

SFN teljesítményhatékonyság

- Az SFN nem csak frekvencia, de teljesítmény hatékony is
- Az adók által keltett térerősség a hely függvényében ingadozik
- Hagyományos hálózatban a lefedést az átviteli út szintdiagramjába csillapítás tartalék beiktatásával lehet biztosítani
- SFN-ben, nem-irányított antennás vételkor a vett jelet számos különböző adó jele alkotja, az egyes jelek változása általában független, ezért az egyik adó fadings jele kipótolható a másik adó nem fadings jelével
- Ez a térerősség kisebb mértékű változását eredményezi
- Tehát az SFN-ben kisebb teljesítményű adók használhatók

124

SFN szinkron működés

- A frekvencia- és teljesítményhatékonyságnak azonban ára van: a hálózat adóinak szinkronban kell működniük
- A szinkronizmusához különleges lépésekre van szükség
- Az adók szinkronizmusával szemben támasztott követelmény hatással van a TS adókhoz történő szétosztására is
- Az SFN adók szinkron működésének biztosítása miatt eleve nem megengedett az egyes adókban az adatfolyam bármely komponensének megváltoztatása, pl. nem lehetséges helyi programot beültetni
- Bármely különbség az SFN hálózat egyes adóinak modulációs jeleiben interferenciát eredményez a szomszédos adók jeleiben

125

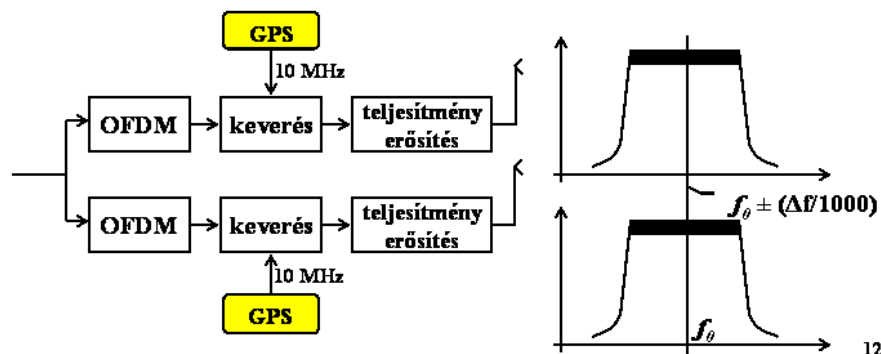
SFN működtetéséhez a következők alapvetők:

- Frekvencia szinkron
- Bit szinkron
- Idő szinkron

126

Frekvencia szinkron

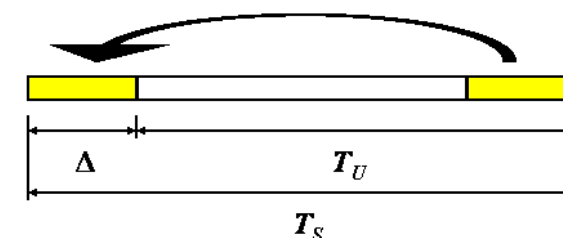
- Az egyes OFDM vivőket az SFN hálózat valamennyi adójának ugyanazon a frekvencián kell kisugároznia
- A szükséges frekvenciapontosság függ a vivők távolságától (Δf)
- Ha f_k a k . vivő ideális frekvenciaértéke, akkor ezt az összes adónak $f_k \pm (\Delta f / 1000)$ frekvencián kell kisugároznia



127

Idő szinkron

- Az OFDM szimbólumokat az SFN hálózat adóinak ugyanabban az időpontban kell indítani
- Úgy gondolhatnánk, hogy a pontossági követelmény a védő intervallum megléte miatt nem túl szoros
- Azonban a védő intervallum feladata a többutas terjedés okozta hibák kiküszöbölése



- A tűrés kb. a védelmi intervallum tizede

128

Bit és idő szinkronizáció

- Az SFN bit és idő szinkront a multiplex oldalon beültetett időbélyegek és a GPS rendszer segítségével valósítják meg
- Időzítési információ csak TS csomagba ültethető be
- A beültetést valamilyen nem túl rövid idejű periodicitással érdemes és kell megvalósítani
- Ehhez definiálni kell az OFDM keret szerkezettel, a TS csomagokkal és a szinkron invertálással is egészszám szoros viszonyban lévő TS adat mennyiséget
- Ez az adatmennyiség a **Megakeret** (MK)
- De mekkora is a Megakeret?
- Mint tudjuk egy OFDM keret 68 OFDM szimbólumból áll

129

Megakeret definiálása

- 8k módban a 68 OFDM szimbólum mindig egész számú RS TS csomag adatát tartalmazza
- 2k módban ez nem igaz, ezért be kell vezetni a szuperkeretet
- A szuperkeret négy egymást követő OFDM keretből áll
- A szuperkeret egész számú csomagot tartalmaz 8k/2k módban
- De ki kell alakítani egy olyan un. Megakeretet is, mely periodikus az energiaterítő PRBS szinkronnal is
- Ehhez nyolccal osztható csomag számra van szükség
- 8k módban 8 db. OFDM keretből, 2k módban 32 db. OFDM keretből alakítják ki a MK-t, amely már minden módban nyolccal osztható számú TS csomagot tartalmaz

130

Egy OFDM keret RS csomag száma

	Kód- arány	Egy TS csomag bitszáma	Egy OFDM szimbólum bitszáma	csomag szám QPSK	csomag szám 16-QAM	csomag szám 64-QAM
8k	1/2	3264	411264 x bit/vivő	2 x 126	4 x 126	6 x 126
8k	2/3	2448	411264 x bit/vivő	2 x 168	4 x 168	6 x 168
8k	3/4	2176	411264 x bit/vivő	2 x 189	4 x 189	6 x 189
8k	5/6	9792/5	411264 x bit/vivő	2 x 210	4 x 210	6 x 210
8k	7/8	13056/7	411264 x bit/vivő	441	882	1323
2k	1/2	3264	102816 x bit/vivő	63	126	189
2k	2/3	2448	102816 x bit/vivő	84	168	252
2k	3/4	2176	102816 x bit/vivő	189/2	189	567/2
2k	5/6	9792/5	102816 x bit/vivő	104	208	312
2k	7/8	13056/7	102816 x bit/vivő	441/4	441/2	1323/4

131

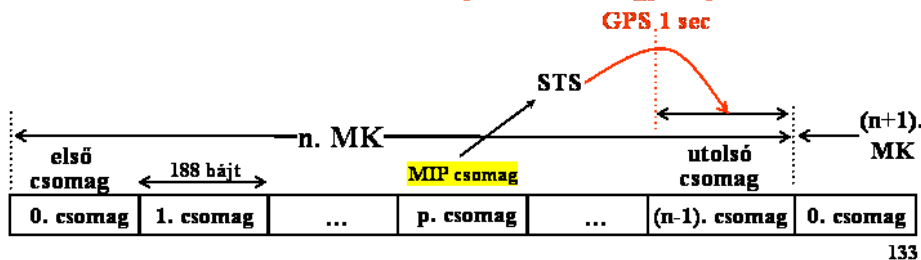
Megakeret definiálása

- Az MK időtartama független a jelmegfeleltetéstől és a kódaránytól, hiszen egy MK 8-68 OFDM keret 8k és 32-68 OFDM keret 2k módban
- A védő intervallumtól függően négy MK időtartam létezik:
 - $0,502656 \text{ s } (\Delta/T_U = 1/32) = 33/32 \cdot 68 \cdot 8 \cdot 896 \text{ } \mu\text{s}$
 - $0,517888 \text{ s } (\Delta/T_U = 1/16) = 17/16 \cdot 68 \cdot 8 \cdot 896 \text{ } \mu\text{s}$
 - $0,548352 \text{ s } (\Delta/T_U = 1/8) = 9/8 \cdot 68 \cdot 8 \cdot 896 \text{ } \mu\text{s}$
 - $0,609280 \text{ s } (\Delta/T_U = 1/4) = 5/4 \cdot 68 \cdot 8 \cdot 896 \text{ } \mu\text{s}$

132

MK inicializáló csomag (MIP)

- A MIP egyedi PID-del rendelkező TS csomag (ETSI TS101191)
- Az SFN illesztő előállítja a MK-eket, és beilleszti a MIP-eket
- Az n . MK MIP-je tartalmazza azt az órajel értéket (szinkronizációs időbélyeg, Synchronization Time Stamp: STS), amiből az $(n+1)$. MK első csomagjának kezdete egy referenciához képest számítható
- Ez a referencia a GPS „**másodpercenként egy impulzus**”-a

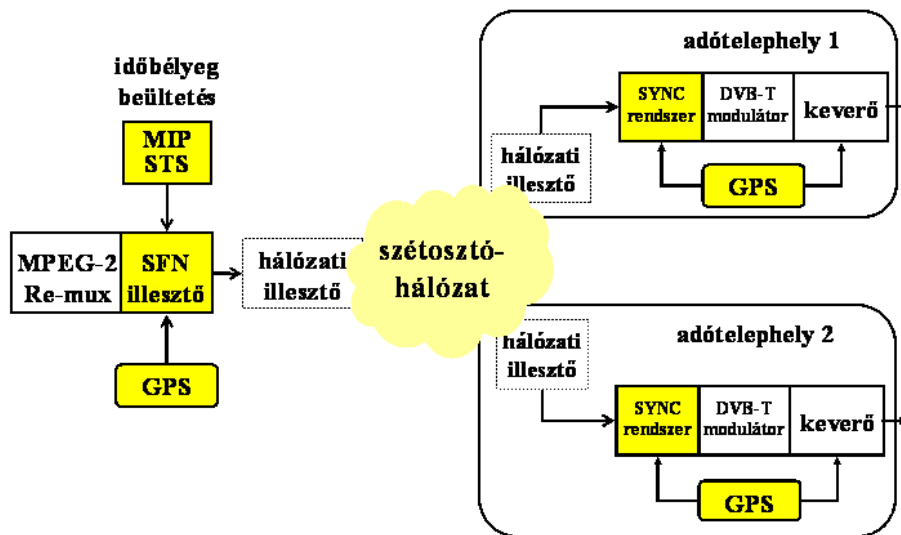


133

- A szinkron pl. a következő mechanizmussal biztosítható:
 - Minden telephelyen van számláló, melyet a GPS 10 MHz-es jele inkrementál, és amit a GPS minden másodperce töröl
 - Az $(m+1)$. MK kibocsátási időpontjának megadásához a multiplexer m . MK MIP-jébe beírja azt az értéket, melyet a saját óra az $(m+1)$. MK kibocsátásakor mutatni fog
 - A multiplexer ezenkívül beilleszti a MIP-be az adott hálózat maximális késleltetési idejét is
- A telephelyek kódolói kiveszik a m . MK-ből a MIP-et
- Összeadják a megadott maximális késleltetési időt és az $(m+1)$. MK első bitjének MIP-be ültetett idejét
- Addig várnak, amíg a helyi számláló el nem éri ezt az értéket
- Csak ekkor adják ki a következő, az $(m+1)$. MK-et

134

Két adós SFN hálózat vázlata



135

Gloális helymeghatározó rendszer (GPS)

- A GPS egyike a lehetséges időreferenciáknak, az egyetlen, mely globálisan is elérhető
- A GPS vevők 10 MHz-es frekvenciareferenciát, illetve másodpercenként 1 impulzus (1 pps) időreferenciát biztosítanak
- Az SFN szinkronizálásához használatos 1 pps időreferenciát a 10 MHz-es órajel segítségével 100 ns-os lépcsőkre osztják
- Az „SFN illesztő” és a „SYNC rendszer” csak az egyfrekvenciás hálózatok esetén szükséges, többfrekvenciás hálózat használatkor elhagyható

136

A hálózat maximális jel terjedési késleltetése

- A szétesztó hálózatban fellépő maximális terjedési késleltetés a multiplexertől a legközelebbi és a legtávolabbi adótelepre eljutó jel közötti idő különbség
- Ennek értéke nagymértékben függ a hálózat technológiájától
- A leghosszabb terjedési késleltetési idő hibrid hálózatokban lép fel, pl. ott, ahol az egyik adót optikai szálon, a másikat műholdon keresztül táplálják

137

Terjedési késleltetés stabilitása

- A szétesztó hálózat ágainak jelátfutási ideje nem mindig állandó
- Pl. egy geostacionárius műhold soha nem mozdulatlan, folyamatosan mozog egy kb. 75 km³ térfogatú kockában
- A mozgás következtében a műholdas kapcsolat késleltetése ± 10 μ s-mal is változhat, mely jóval meghaladja a toleranciát
- A szinkronizációs mechanizmusnak ki kell kompenzálnia az instabilitását

138

DVB-T jelszétesztás

- A szétesztó hálózat a digitális televíziós jeleket szállítja a műsorkészítés helyétől az adó telephelyéig

DVB-T és a PDH

- A pleziokrón digitális hierarchiát (Plesiochronous Digital Hierarchy: PDH) digitalizált jelekhez tervezték
- A G.703 jelű ITU-T ajánlás definiálja a különböző hierarchiaszintek esetén alkalmazható interfészeket
- A TS adatfolyam továbbítására a 34,368 Mbit/s sebességű hierarchia szint jöhet szóba
- A DVB TS és a PDH hálózat közötti területet az ETS 300 813 dokumentum definiálja

139

DVB-T és az SDH

- A szinkron digitális hierarchia (Synchronous Digital Hierarchy: SDH) egyszerű multiplexálási és demultiplexálási eljárást használ, és fejlett hálózat felügyeletet tesz lehetővé
- Európában a hálózat illesztő felülete az STM-1 jelű szint, melynek sebessége 155,520 Mbit/s
- A DVB MPEG-2 TS SDH hálózatokhoz történő adaptációját az ETS 300 814 jelű dokumentum definiálja

Műholdas szétesztás

- A DVB TS-t a DVB-S műholdas átvitelrel is el lehet osztani
- A szétesztó közeg megváltozása miatt az adókban a szolgáltatási információt újra-multiplexeléssel frissíteni kell

140