

9. gyakorlat: Digitális TV és Cellás mobiltelefonía

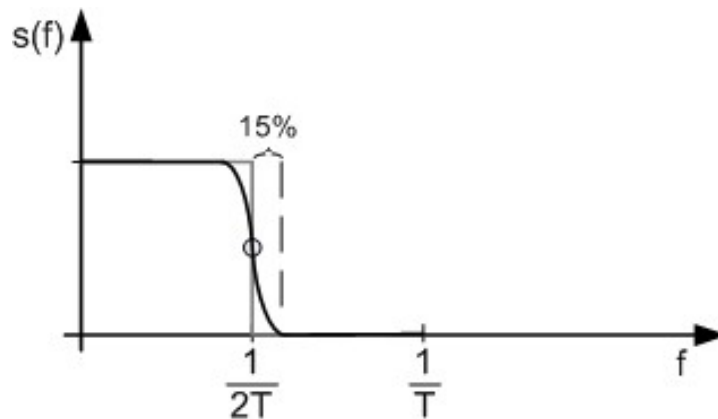
P.9.1. DVB-C: digitális TV, kábeles átvitel

Kérdés: 64QAM használatával hány digitális TV-csatorna fér el a hagyományos 8MHz-es rászterben? Vegyük figyelembe, hogy az ISI elkerülése érdekében 15%-os emelt koszinuszos elemi jelet használunk, és a hibák felismeréshez RS(204,188) paraméterű Reed-Solomon kódolást.

Megoldás:

A feltett kérdés számos, a korábbiakban megismert műszaki megoldás felelevenítését kívánja: az elemi jel sáv szélessége; az n-QAM rendszerekkel egy jelzési időben átvihető $\log_2(n)$ bitnyi adatmennyiség; szimbólumsebesség és a bitsebesség kapcsolata; a digitális video-átvitel jellegzetes sáv szélesség-határai.

A 15%-os emelt koszinuszos elemi jeleket (korábbról megismert, vevőben vett) spektrumát felelevenítve láthatjuk, hogy számításainkhoz az $1/2T$ sáv szélességhez képest 15%-os növekménnyel kell számolnunk. (Ellenben számos előnyhöz is jutunk, pl. „kisebb talpponti remegés” a jeleket időtartományi képén, ami az ISI csökkentését segíti).



A szimbólumsebesség $1/T$, ezt a 8MHz-es sáv szélesség ismeretében így számíthatjuk: $2 \cdot \frac{1}{2T} \cdot 1.15 = 8 \text{ MHz}$. Ebből $\frac{1}{T} = 6.96 \text{ MBaud}$.

Az emelt koszinuszos elemi jel sáv szélességét a QAM kétoldalsávós jellege miatt szoroztuk kettővel. A szimbólumsebesség tehát 6.96 millió szimbólum másodpercenként. A 64QAM definícióját (vagy ezzel együtt a konstellációs diagramját) felelevenítve emlékezhetünk, hogy egy elemi jellel 64 különböző értéket vihetünk át. Bináris ábrázolásban ez azt jelenti, hogy egy szimbólum 6 bitet tartalmaz ($\log_2(64)=n$, ebből $n=6$).

A fent kiszámított szimbólumsebességet bitsebességre átszámítva tehát ezt kapjuk: $6 \text{ bit/szimbólum} \cdot 6.96 \text{ MBaud} = 41.74 \text{ Mbps}$.

A Reed-Solomon kódolás segítségével lehet hibákat felismerni, és bizonyos mértékig hibát javítani is. Az RS(204,188) paraméterek azt jelentik, hogy 188 byte-nyi információt 204 byte-ra (azaz 16 byte-nyi redundanciával) egészítünk ki.

A Reed-Solomon kódolás sajátága, hogy a kódtávolság: $d_{\min}=n-k+1$. Esetünkben $d_{\min}=17$, a javítható szimbólumok száma pedig $\left\lfloor \frac{d_{\min}-1}{2} \right\rfloor$; ami most 8.

Ezzel a módszerrel tehát 188 byte-nyi információ-blokkonként legfeljebb 8 hibás szimbólum (byte) javítható. Lehet, hogy a hibák eloszlása olyan, hogy mindegyikben csak 1-1 bithiba van.

Több hibát nem tudunk javítani, de tudjuk jelezni. Túl gyakori hibázás esetén komolyabb műszaki beavatkozás kezdeményezhető.

$41.74 \text{ Mbps} \cdot 188/204 = 38.47 \text{ Mbps}$ lesz ezen a sávon a hasznos adatok átvitelére alkalmazható bitsebesség.

Egyetlen TV csatorna sáv szélességét a kódolás típusa, és ennek minőségi korlátai határozzák meg műszakilag – de esetünkben a híradástechnikai szabályozás is jelentős szerepet játszik. A sáv szélesség „pénzbe kerül” az adott televízió-csatornának. Bár már az 1 Mbps bitsebességű digitális videofolyam is élvezhető, és műszakilag a 6 Mbps sebességű kódolás sem okozna problémát, a jelenlegi hazai gyakorlatban a nagyobb bitsebességű adások is csak 3 Mbps körül vannak.

Ha átlagosan 1.5 Mbps bitsebességgel számolunk, akkor $38.47 \text{ Mbps} / 1.5 \text{ Mbps} = 25.6$, azaz 25 csatorna fér el a 8 MHz-es sávra.

P.9.2. DVB-T példa: digitális TV, földfelszíni átvittel

Kérdés: Mekkora a DVB-T.HU multiplexenkénti nettó (azaz akár MPEG4 bitfolyamokra is használható) bitsebessége?

Vegyük figyelembe az alábbi, (előadásról is) ismert adatokat:

- OFDM átvitelt használunk, összesen 6817 vivővel, amiből 6048 hordoz felhasználói adatot.
- Az egy szimbólum átvitelére szánt T_0 időablak 896 μs .
- A szimbólumidőhöz tartozó védő intervallum: $GI=+1/4$.
- 64QAM modulációt alkalmazunk.
- Hibatűrő kódolásunk RS(204,188)
- A hibatűrést növelő konvolúciós kód, a “Forward Error Correction” aránya: $FEC\text{-rate}=3/4$

Megoldás:

A földfelszíni átvitel a kábeleshez képest más akadályokat is támaszt a digitális mozgóképátvitelt megvalósító rendszerek elé.

A feladat megoldásakor eleveintsük fel, hogy az OFDM miért alkalmas módszer a földfelszíni digitális video-átvitelre: sok, különböző vivőn viszonylag hosszú elemi jelidőt engedhetünk meg magunknak, így csökkenthetjük a többutas terjedés hátrányos következményeit – hisz „több időnk van” a vett jel pontos azonosítására.

A 6048 vivőn hordozott hasznos információhoz 769 további vivő segíti a szinkronizációt: a különféle terjedési viszonyok mellett ők jelentik az ismert pontokat a spektrumban a vevő számára.

A használandó sáv szélesség most a vivők köré transzponálódó (ismert) szimbólumidő segítségével számítható. Újra kétoldalsávú QAM modulációt alkalmazunk, és mivel $T_0=896 \mu\text{s}$, ezért a jel által elfoglalt sáv szélesség $2 \cdot \frac{1}{2T_0}(0.5 + 6817 + 0.5) = 7.6 \text{ MHz}$. A zárójelben szereplő két, fél-sáv szélességgel számolt vivő az átvitel sajátossága – az eredmény szempontjából fél ezreléknél kevesebb (elhanyagolható) hibát hoz be csak, ha nem számolunk vele.

A hasznos jel digitális sebességeire a következő korlátok adódnak.

A szimbólumsebesség:

$$6048 \cdot \frac{1}{(1 + 1/4)T_0} = 5.4 \text{ MBaud} - \text{Itt az } 1/4 \text{ a GI (Guard Interval), és } T_0=896 \mu\text{s}.$$

A 64QAM segítségével újra 6 bitnyi bináris információt tudunk egy szimbólumidő alatt átvinni, így a bitsebesség: $5.4 \text{ MBaud} \cdot 6 \text{ bit/szimbólum} = 32.4 \text{ Mbps}$.

A hibavédő kódolások (FEC=3/4, RC(204/188)) is hatással vannak a hasznos bitek átviteli sebességére. $32.4 \text{ Mbps} \cdot 3/4 \cdot 188/204 = 22.4 \text{ Mbps}$.

A csatornánként használt bitsebességekre az előző példában használthoz hasonlóan széles tartomány áll rendelkezésünkre; használjuk most is az előző átlagértéket. Ha átlagosan 1.5 Mbps bitsebességgel számolunk, 14.933 digitális csatornát vihetünk át a fenti peremfeltételekkel. Ez az egy csatornára adott átlagérték pontosságától függően függően lehet 14 vagy 15 is.

P.9.3. Cellás mobiltelefonía: mennyien beszélünk egyszerre?

Kérdés: Adjunk nagyságrendi becslést arra, hogy hányan telefonálhatnak egyszerre a 900 MHz -es GSM sávban Budapest környékén! Mennyien telefonálhatnak egy szolgáltatónál egyszerre, egy cellán belül?

Budapest területe 525 km^2 . Frequency Reuse Factor: $N=12$. Nagyon jó közelítéssel 525 cellát használnak a szolgáltatók. Egy szolgáltató 40 db FDM csatornát használ.

Megoldás:

A megoldáshoz tudnunk kell, hogy a GSM sáv 25 MHz -et jelent irányonként: $890\text{-}915 \text{ MHz}$ uplink, és $935\text{-}960 \text{ MHz}$ downlink.

A jó közelítéssel 525 cella és Budapest 525 km^2 területe átlagosan 1 km^2 cellaméretet jelent. Az $N=12$ FRF azt jelenti, hogy egy klaszter 12 („hatszögletű”) területből áll, ezek a klaszterek ismétlődnek. N viszonylag nagy választása azt jelenti, hogy egy cellában viszonylag kevés (10-11) csatorna használható, a 25 MHz -es sáv ugyanis 124 darab 200 kHz sáv szélességű csatorna jelenlétét engedélyezi (FDMA – Frequency Division Multiple Access). Előnye is van ennek a nagy N -nek:

ugyanaz a frekvenciasáv jóval távolabb kerül újrafelhasználásra, mint $N=3$ vagy $N=7$ választása esetén. (Rajzoljunk!)

Minden 200 kHz-es csatorna TDM (Time Division Multiplex) rendszerben 8 időrés használatos, minden aktív felhasználóhoz 1-1 időrés van definiálva.

$124 \text{ csatorna} \cdot 8 \text{ időrés} = 992 \text{ felhasználó egy klaszterben.}$

Egy klaszter 12db 1 km^2 átlagos cellamérettel rendelkező cellából áll, tehát egy klaszter átlagosan 12 km^2 kiterjedésű. Budapesten $525 \text{ km}^2 / 12 \text{ km}^2 = 43.75$ klaszter van, pontosabban ennek egészre kerekített értéke, tehát 44.

A 44 klaszterben klaszterenként 992 felhasználó lehet, azaz összesen 43648 felhasználó beszélhet a 3 szolgáltatónál egyszerre.

Szolgáltatónkénti elosztás is számítható az előadásokon hallottak alapján (jelenleg ebben a GSM sávban: T-Mobile: 40, Telenor: 40, Vodafone: 43, Antenna Hungária: 1 darab 200kHz-es csatornát használ FDMA-ban).

Kevés ez? No igen.

A megoldás lehet más kódoló használata, pl. Half Rate. (Az Enhanced Full Rate sávszélesség-nyereséggel nem jár, az AMR (Adaptive Multi-Rate) viszont sokat tömörít, és így a sávszélesség-kihasználásban is segít.)

Másik megoldás a további frekvenciasávok használata, pl. sűrűn lakott területeken az 1800 MHz körüli frekvenciáké. Itt az uplink az 1710-1785MHz-es, a downlink pedig az 1805-1880MHz-es sávban foglal el 75 MHz sávszélességet, további 374 csatornához juttatva a használóit.

Extra: 1 cellán belül 1 szolgáltatónál (ha az cca 40 csatornát kap):

$$\text{int} \left[\frac{40 \text{sáv}}{12} \right] \cdot 8 = 24 \text{ vagy } 32 \text{ ember beszélhet.}$$

Felső (és nagyságrendi) közelítéssel a három szolgáltatónál egy cellában 100 ember beszélhet.