

Számítógép-hálózatok

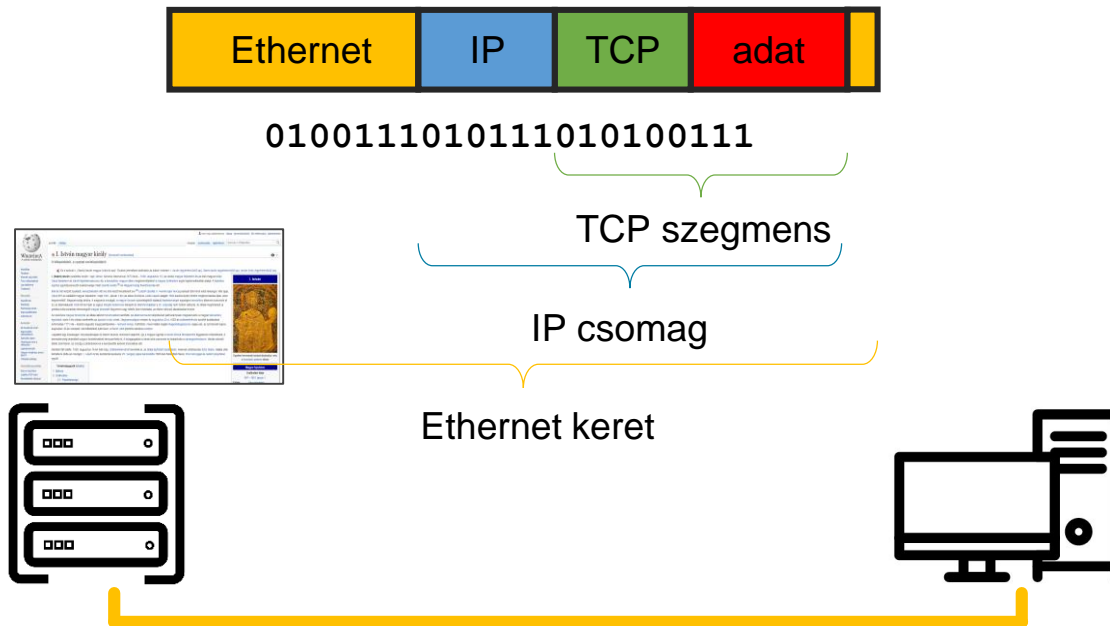


2-3. Fizikai réteg

Tartalom

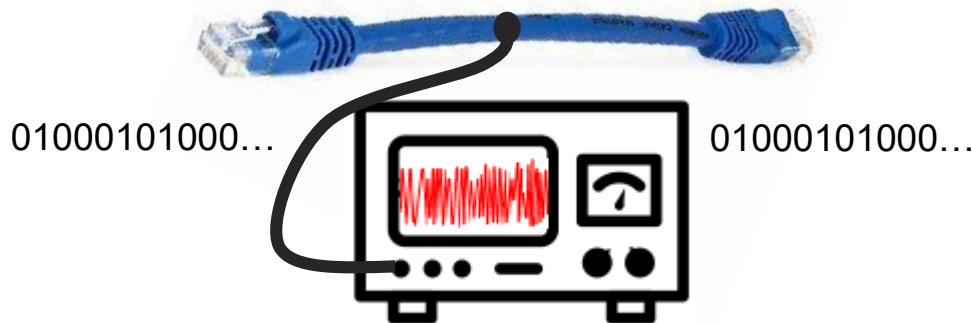
- A fizikai réteg feladata
- Vezetékes átviteli közegek
- Vezeték nélküli adatátvitel
- Digitális kommunikáció alapjai
- Példák fizikai rétegek megvalósítására

Ismétlés: réteges szerkezet

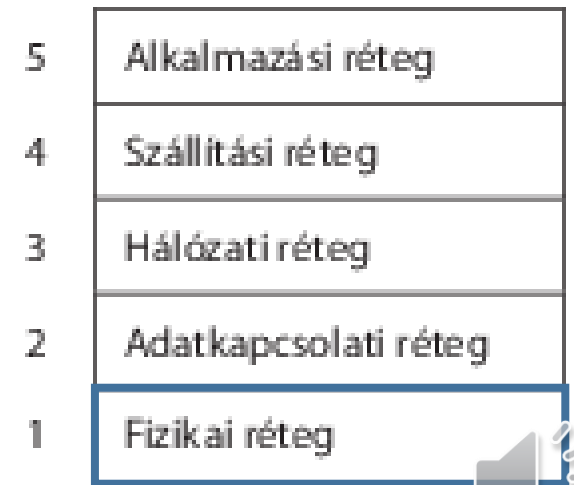


A fizikai réteg

- Erre a rétegre épül a többi
- A fizikai réteg tulajdonságai alapvetően meghatározzák a hálózat teljesítőképességét
- A réteg feladata:
 - Küldjünk (digitális) biteket ...
 - ... valamilyen fizikai (analóg) jel segítségével



- Ezt nevezzük modulációnak



Vezetékes átviteli közegek

- Mágneses adathordozók
- Sodrott érpár
- Koaxiális kábel
- Elektromos hálózat (pl. 230V) vezetékei
- Üvegszálak

Mágneses adathordozók

- Mágneses vagy szilárdtest (SSD) tároló
- Adatszállítás gyakori módja
 - Adathordozóra írás
 - Az adathordozó elszállítás a rendeltetési helyre
 - Az adat beolvasása
- Nagyon költséghatékony
 - Nagy sáv szélesség
 - Alacsony költség
- „Soha ne becsüld le egy olyan furgon sáv szélességét, amely kazettákkal telepakolva száguld az autópályán!”



Mágneses adathordozók (2)

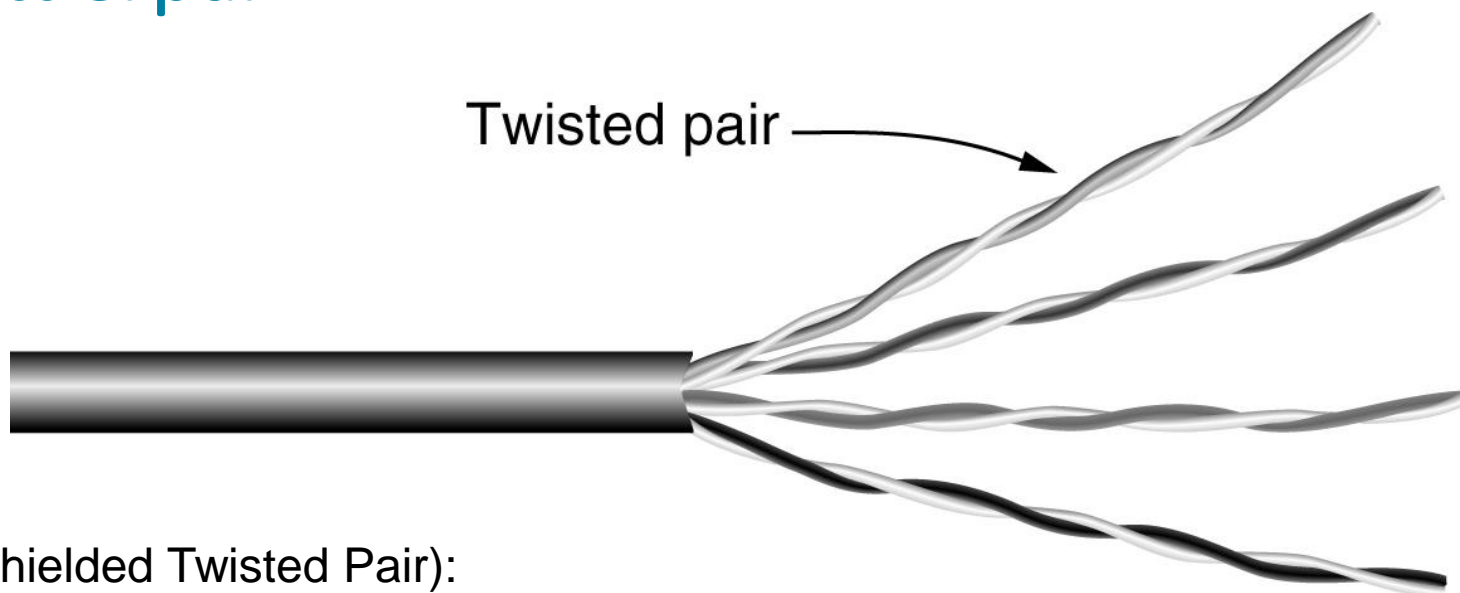


Gyakorlati példa:

- Ultrium kazettákat (800GB) használunk
- Egy 60cm x 60cm x 60cm dobozba 1000db elfér
 - $800\text{TB} = 6400\text{Tb}$
- Futárszolgálat egy nap alatt bárhova elviszi
 - $1 \text{ nap} = 24\text{h} = 86400\text{s}$
- Sáv szélesség: $6400\text{Tb}/86400\text{s} = 74\text{Gb/s}$
- Ezzel nem tudnak a hálózatok versenyezni
- Az adatkésleltetés viszont nagyon nagy



Sodrott érpár



UTP (Unshielded Twisted Pair):

- Cat 3-Cat 6-ig

Cat 5e kábel:

- Szigetelt érpárok finoman sodorva
- Négy ilyen érpár egy közös műanyag köpenyben

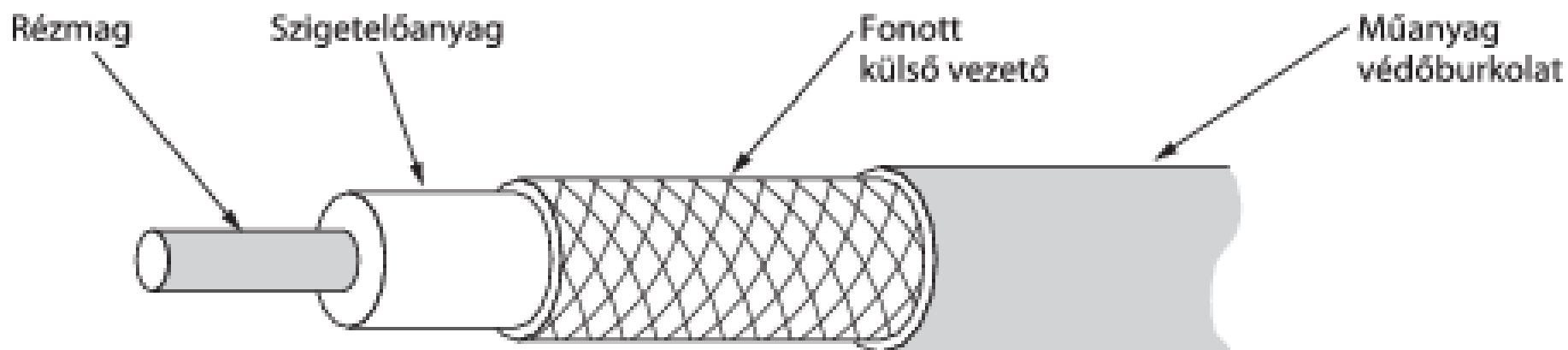
Cat 7:

- Érpárok külön-külön árnyékolva és a teljes köteg is árnyékolt



RJ-45 csatlakozó

Koaxiális kábel

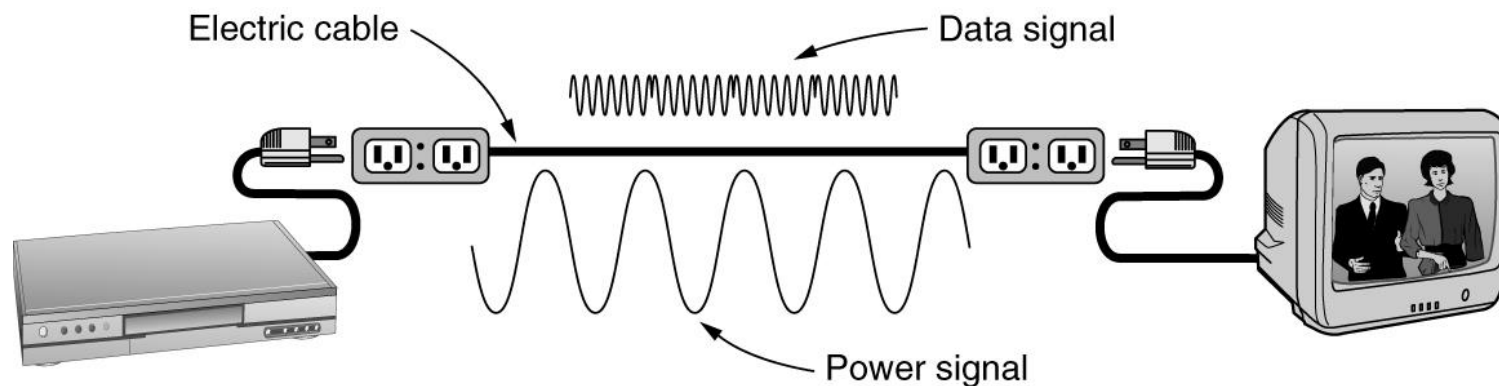


A koaxiális kábel (koax) felépítése

Csatlakozók koaxiális kábelekhez



Elektromos hálózati kábelek



A meglévő elektromos hálózati kábelezést használjuk

Nem ideális: nem erre tervezték

Működés:

- Az elektromos hálózat 50Hz-es váltóáramú
- A jeleket magasabb frekvenciával kódoljuk és ráültetjük a vezetékekre
- Egy másik konnektorban a nagyfrekvenciás összetevőket leválasztva a jel dekódolható

Akár néhányszor 100Mb/s sebességtartományig jól működik



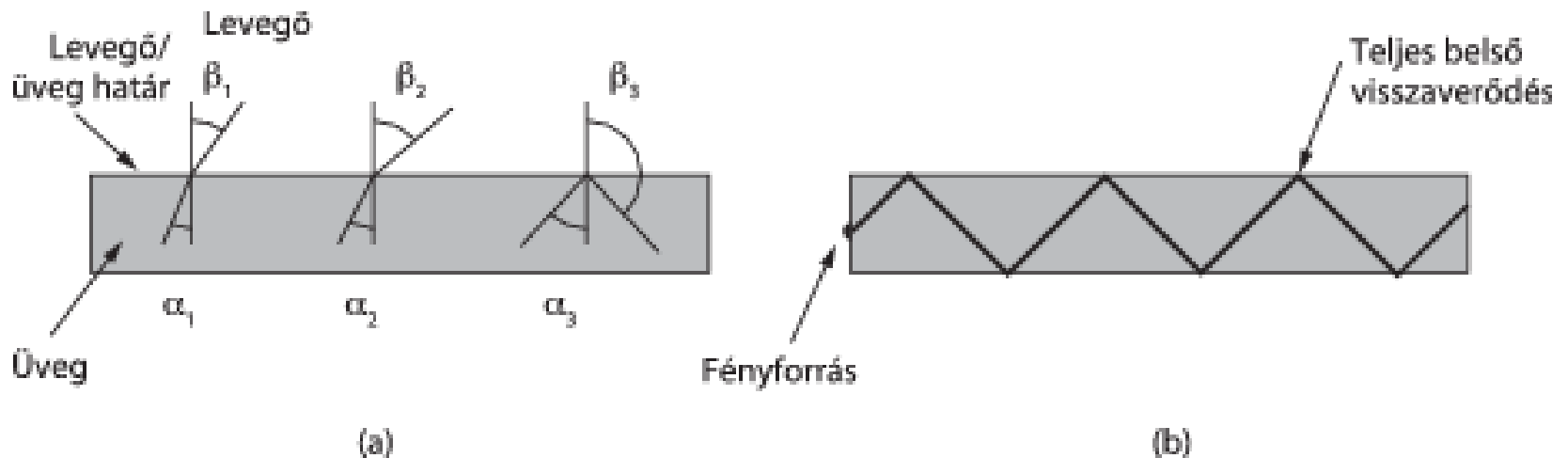
Üvegszálak (1)

- Hatalmas sáv szélesség
- Költséges
- Felhasználási területek
 - Gerinchálózatok, nagy távolságú adatátvitel
 - Nagy sebességű LAN-ok
 - Nagysebességű Internet-elérés
- Komponensek:
 - Fényforrás, átviteli közeg, detektor



Üvegszálak (2)

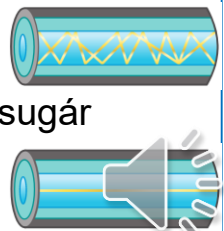
Egy kis fizika:



- (a) Egy üvegszál belsejében a fénysugár három különböző szögben érkezik az üveg és a levegő határához. A harmadik esetben visszaverődik.
- (b) Teljes belső visszaverődés miatt a fénysugár az üvegszálon belül marad

Ha az üvegszál vastag, akkor több fénysugár is haladhat egyszerre az üvegszálon (b)-hez hasonlóan, különböző szögben visszaverődve. Ez a **többszörös** üvegszál.

Ha az üvegszál vékony (átmérő = néhány hullámhossznyi), akkor nincs visszaverődés, a fénysugár egyenes vonalban terjed. Ez az **egyszörös** üvegszál. Drága, de nagy távolságra is jó. (100km erősítés nélkül, 100Gb/s sebességgel)



Üvegszálak (3)

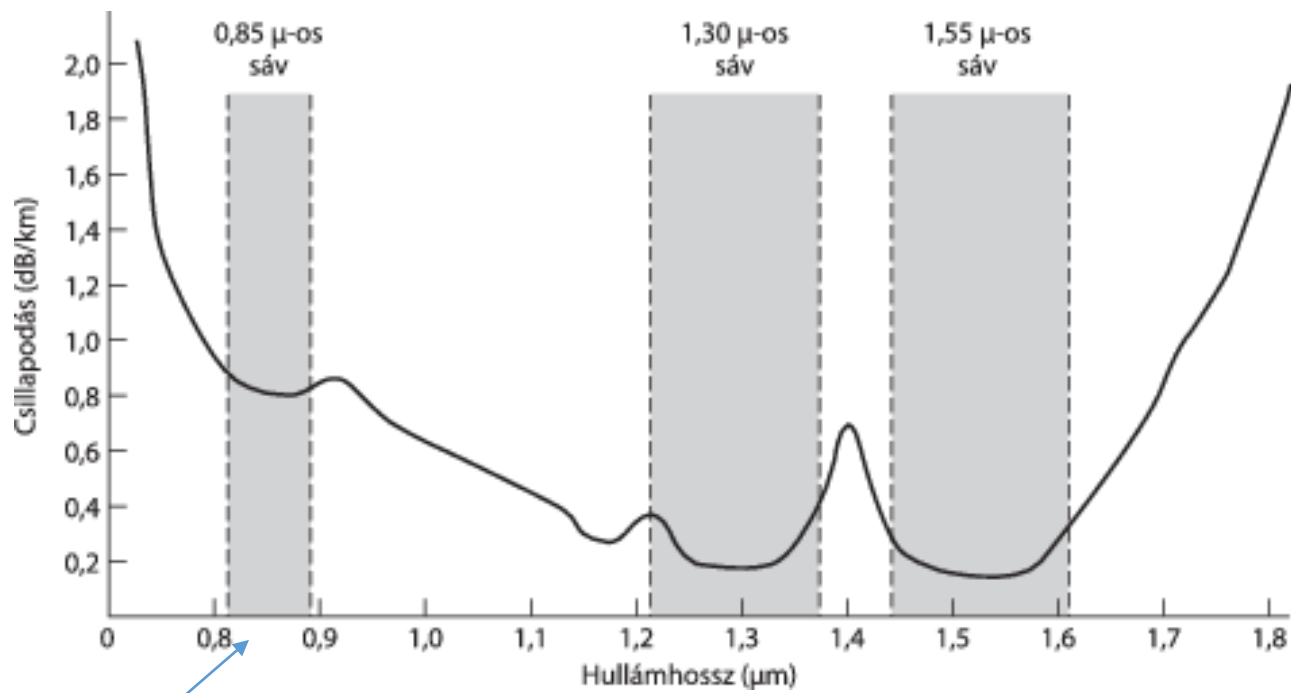
- Fény továbbítása üvegszálon
 - A fényerősség csillapítása az üvegszáliban
 - A fény hullámhosszától függ
 - Csillapítás: bemenő és kimenő jel teljesítményének hányadosa
 - dB/km-ben adjuk meg
 - Pl. ha 3 km alatt felére csökken a teljesítmény, akkor a csillapítás

$$\frac{10 \log_{10} 1/2}{3km} = -\frac{3dB}{3km} = 1dB/km$$

Üvegszálak (4)

Jelenleg 3 hullámhossz-tartományt használnak.

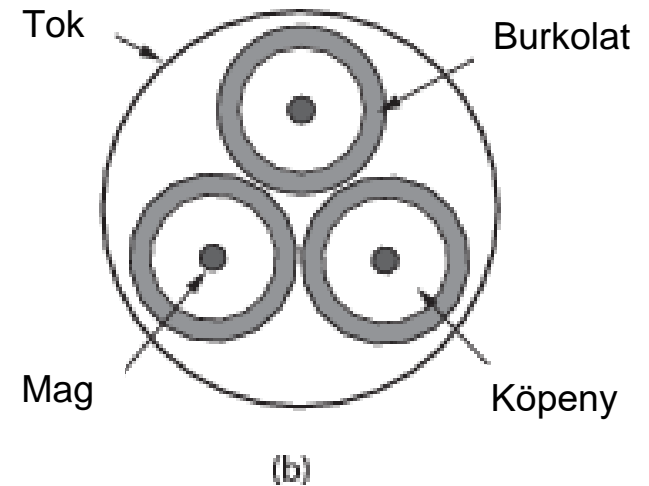
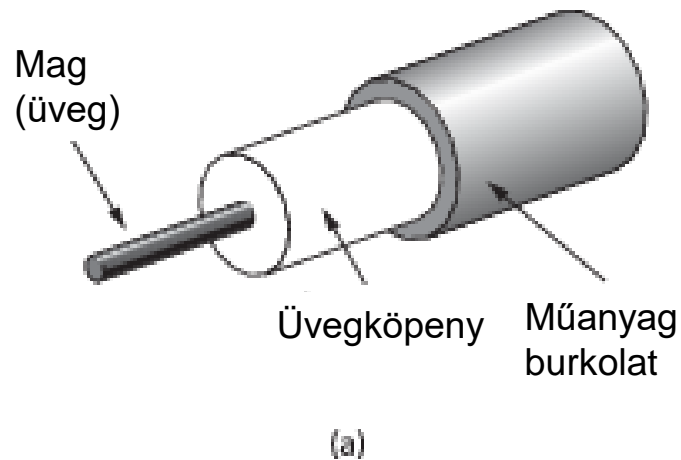
A fény csillapítása az üvegszálon a hullámhossz függvényében:



Alacsony csillapítású sávok
(kevesebb, mint 5 százalék kilométerenként).

Legrégebbi sáv. Nagy csillapítás, de a lézer és az elektronika azonos anyagból (GaAs) készül

Üvegszálak (5)



Az üvegszálak kialakítása

Mag átmérője:

- Többmódusú szál: $50\mu m$
- Egymódusú szál: $8-10\mu m$

Üvegszálak csatlakoztatása:

- Csatlakozóval: 10-20% veszteség
- Mechanikus illesztés
(szögre vágás és egymásra nyomás): 10% veszteség
- Hegesztés: nagyon kis veszteség



SC konnektor



Üvegszálak (6)

Kétféle **fényforrást** alkalmaznak üvegszálak kommunikációban

- LED
- Félvezető lézer

| Jellemző | LED | Félvezető lézer |
|-------------------------|------------|---------------------------|
| Adatsebesség | Kicsi | Nagy |
| Üvegszál típusa | Többmódusú | Többmódusú vagy egymódusú |
| Távolság | Kicsi | Nagy |
| Élettartam | Hosszú | Rövid |
| Hőmérséklet-érzékenység | Kicsi | Jelentős |
| Ár | Olcsó | Drága |

A LED és a félvezető lézeres fényforrások összehasonlítása

A **detektor** egy fotodióda

- Fény hatására elektromos jelet ad
- Késleltetése kb. 1ns, ezért a max. 1Gb/s sebesség

Üvegszálak (7)

- Az üvegszál előnyei a rézvezetékekkel szemben
 - Nagyobb sáv szélesség
 - Kicsi a csillapítása, ritkán kell erősítő (űsz: 30km, réz: 5km)
 - Nem érzékeny áramimpulzusokra, elektromágneses zavarokra
 - Nem érzékeny korrodáló hatású vegyületekre
 - Vékony és könnyű
 - Nehéz megcsapolni
- Az üvegszál hátrányai a rézvezetékekkel szemben
 - Kevéssé ismert technológia, speciális szaktudást igényel
 - Könnyen megsérül, ha túlságosan meghajlítják

Vezeték nélküli adatátvitel

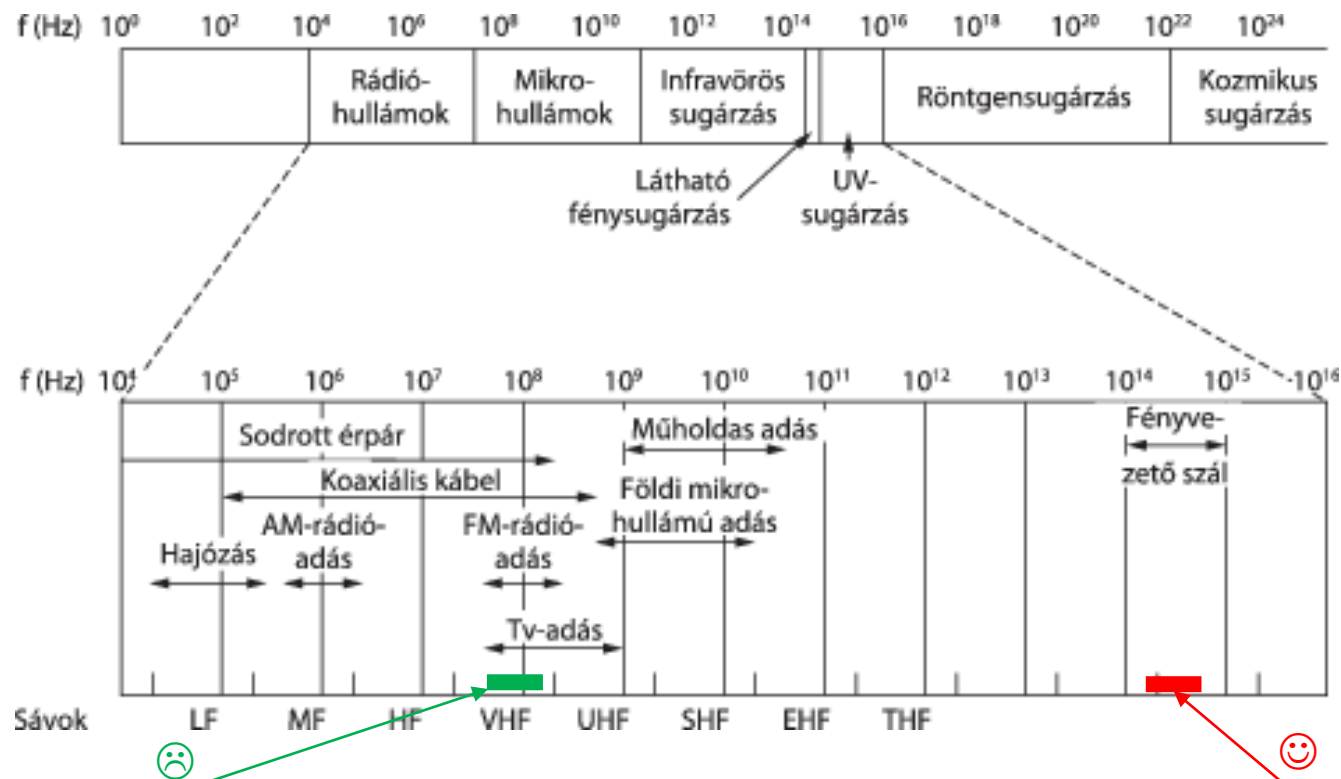
- Elektromágneses spektrum
- Modulációs technikák
- A digitális kommunikáció alapjai



Az elektromágneses spektrum

- Frekvencia: f
- Hullámhossz: λ
- Fénysebesség: c

$$\lambda f = c$$



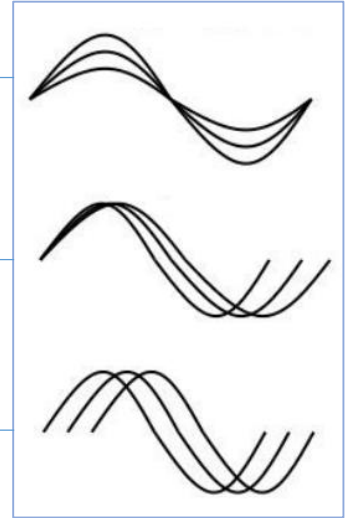
Továbbítható információ mennyisége arányos a sáv szélességgel



Modulációs technikák

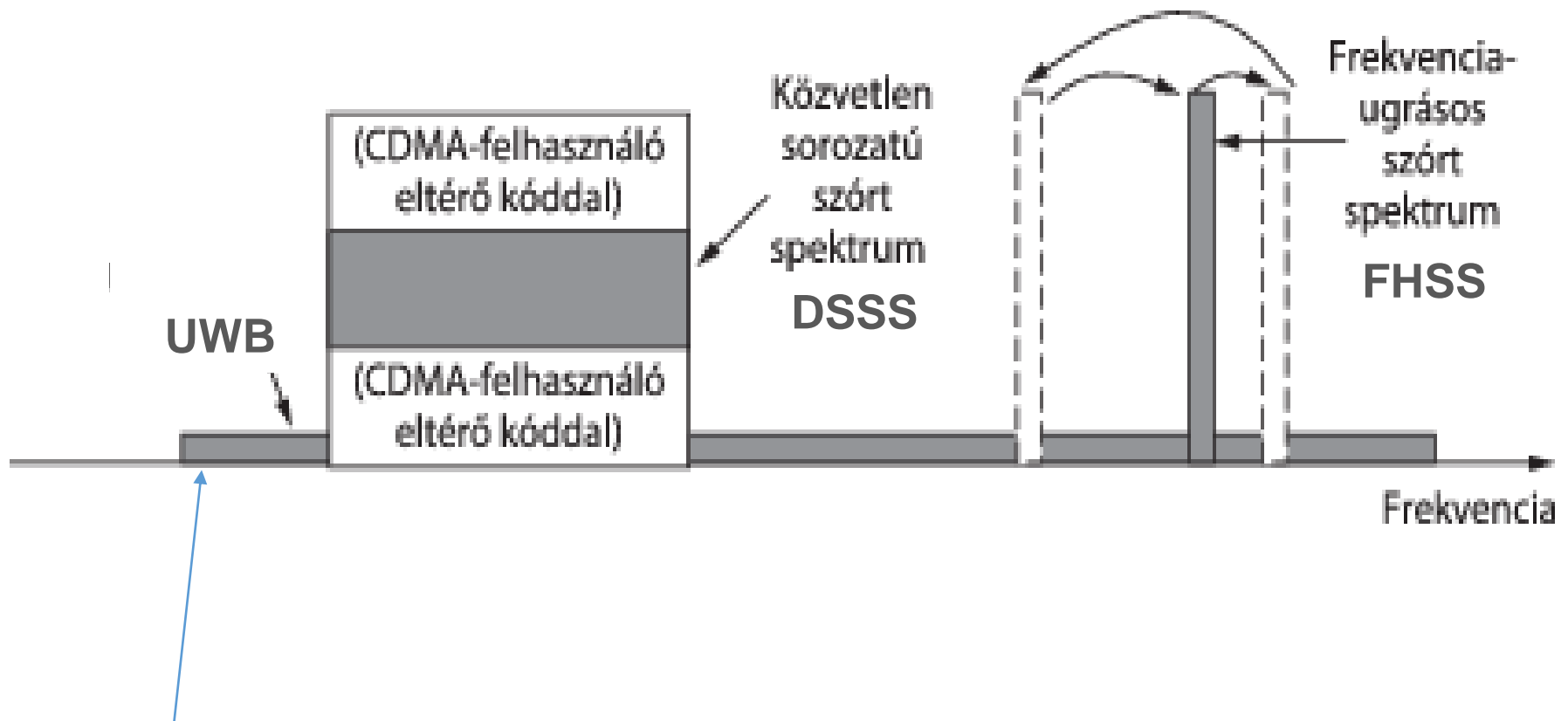
Alapvető modulációk:

- Amplitúdó
- Frekvencia
- Fázis



- Sok modulációs technika keskeny frekvenciasávot használ ($\frac{\Delta f}{f} \ll 1$)
- Más technikák széles sávot használnak
 - frekvenciaugrásos szórt spektrumú (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) - Bluetooth
 - közvetlen sorozatú szórt spektrum (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS – 802.11.b, GPS)
 - UWB (Ultra-WideBand – ultraszéles sáv) - WPAN

Szélessávú modulációs technikák



UWB nagyon alacsony jelszintet produkál egy adott frekvencián, „elfér a többi jel alatt” (underlay)



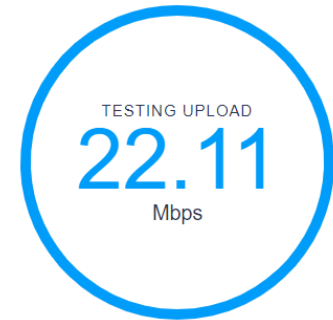
A jelterjedés jellemzői (1)

- Egyszerű csatornamodell:
 - Terjedési késleltetés
 - Mennyi ideig tart az út az adótól a vevőig
 - Mértékegység: másodperc (s)
 - Sebesség
 - Milyen gyorsan adunk
 - Mértékegység: bit/s



A jelterjedés jellemzői (1)

LATENCY 60.3 ms DOWNLOAD 31.81 Mbps UPLOAD 21.33 Mbps



- Egyszerű csatornamodell

- Terjedési késleltetés

- Mennyi ideig tart az út az adótól a vevőig (D)
 - Mértékegység: másodperc (s)

- Sebesség

- Milyen gyorsan adunk (R)
 - Mértékegység: bit/s

- Üzenet késleltetése (L)

- Adás ideje

- Mennyi ideig tart az M bites üzenetet a csatornára tenni

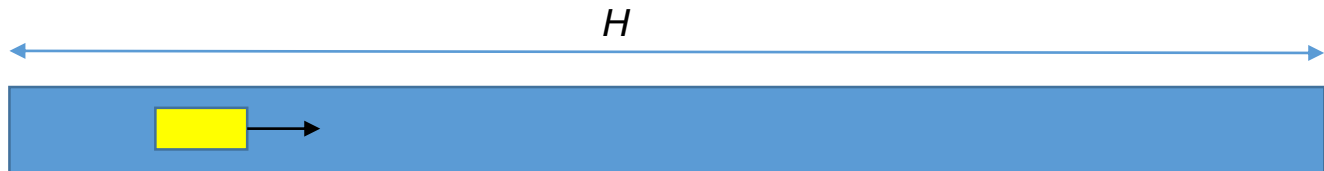
$$T_A = M/R$$

- Terjedési késleltetés egy H hosszú útvonalon (= terjedési késleltetés)

$$D \cong H/c \text{ (rádió), vagy } D \cong H/\left(\frac{2}{3}c\right) \text{ (vezeték)}$$

- Üzenet késleltetése:

- $L = T_A + D = \frac{M}{R} + H/\left(\frac{2}{3}c\right)$



A jelterjedés jellemzői (2)

- Példa: LAN
 - Kábel hossza: $H=5\text{km}$
 - Sebesség: $R=10\text{Mb/s}$
 - Üzenet hossza: 1500B
- Üzenet késleltetése (L)
 - Adás ideje

$$T_A = \frac{M}{R} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ b}}{10 \cdot 10^6 \frac{\text{b}}{\text{s}}} \text{ s} = \frac{12 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} \text{ s} = 1.2 \text{ ms}$$

- Terjedési késleltetés egy H hosszú útvonalon (= terjedési késleltetés)

$$D \cong \frac{H}{\left(\frac{2}{3}c\right)} = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2.5 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 25 \mu\text{s}$$

- Üzenet késleltetése:

$$L = T_A + D = 1.225 \text{ ms}$$

A jelterjedés jellemzői (3)

A sávszélesség-késleltetés szorzat

- Az üzenetek egy része a véges sebesség miatt a csatornán van!
 - Elküldtük, de ...
 - ... még nem érkezett meg
- Hány üzenet lehet egyszerre a csatornán?
 - Ha a maximális sebesség (sávszélesség) R bit/s és
 - a késleltetés D , akkor
 - az úton lévő üzenetek száma:

$$R \cdot D$$

- Ez a sávszélesség-késleltetés szorzat
 - Bitekben (esetlen üzenetek számában) mérjük
 - LAN-ok esetén alacsony érték, de nagy lehet egy gerincvonal esetén



A jelterjedés jellemzői (4)

A sáv szélesség-késleltetés szorzat

- Példa: Optikai kábel
 - Kábel hossza: $H=10.000\text{km}$
 - Sebesség: $R=100\text{Mb/s}$

Mekkora a sáv szélesség-késleltetés szorzat?

- Terjedési késleltetés a kábelben:

$$D \cong \frac{H}{\left(\frac{2}{3}c\right)} = \frac{10^7 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 50\text{ms}$$

- A sáv szélesség-késleltetés szorzat:

$$R \cdot D = 10^8 \frac{\text{b}}{\text{s}} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 5 \cdot 10^6 \text{ b} = 625 \text{ kB}$$

A digitális kommunikáció alapjai

- Az adatátvitel elméleti alapjai
 - Fourier analízis
 - Sávkorlátozott jelek
- A csatorna maximális adatátviteli sebessége
- Digitális moduláció
- Multiplexelés

A szóhasználatról...

- **Sávszélesség / informatikus értelmezés:**

- Maximális adatsebesség egy csatornán
- Mértékegysége: bit/s
- Pl.
 - Ha egy másodperc alatt 10Mbitet tudunk átvinni, akkor a sávszélesség 10Mbit/s

- **Sávszélesség / villamosmérnök értelmezés:**

- Az átvihető frekvenciatartomány szélessége egy csatornán
- Mértékegysége: Hz (1/s)
- Pl.1.
 - ha egy csatornán 0Hz-től 15MHz tartományban lehet jeleket átvinni, akkor a csatorna sávszélessége 15MHz
- Pl.2.
 - ha egy csatornán 1.1GHz-től 1.2GHz-ig lehet jeleket átvinni, akkor a sávszélesség 100MHz

Fourier analízis

- Egy jel (pl. feszültség) viselkedését matematikai függvényekkel modellezzük
- Fourier sor (periodikus $g(t)$ jelre):

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

- ... ahol az együtthatók így számíthatók:

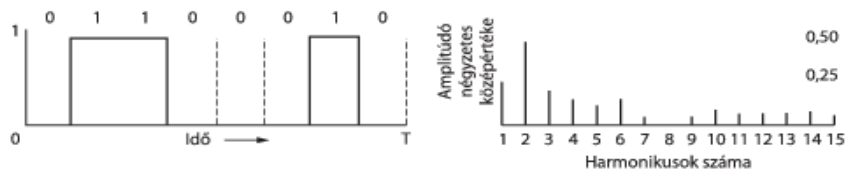
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

A jel modellezéséhez végtelen számú harmonikust használtunk

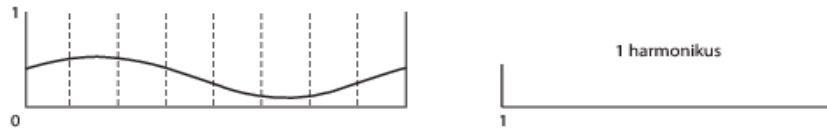
A harmonikusok frekvenciája tetszőlegesen nagy lesz



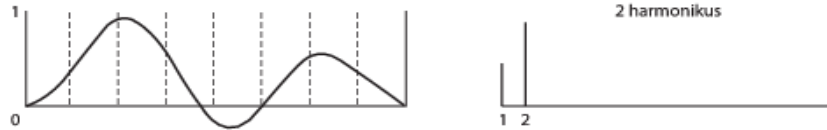
Sávkorlátozott jelek (1)



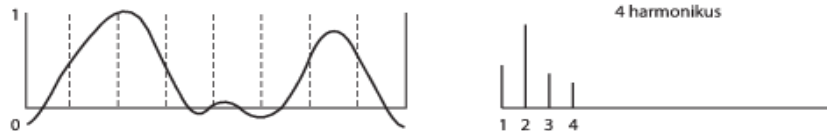
(a)



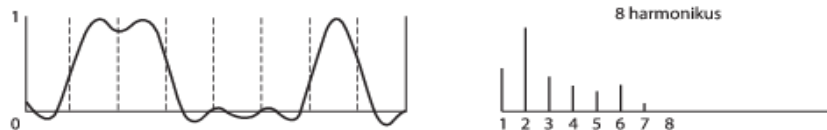
(b)



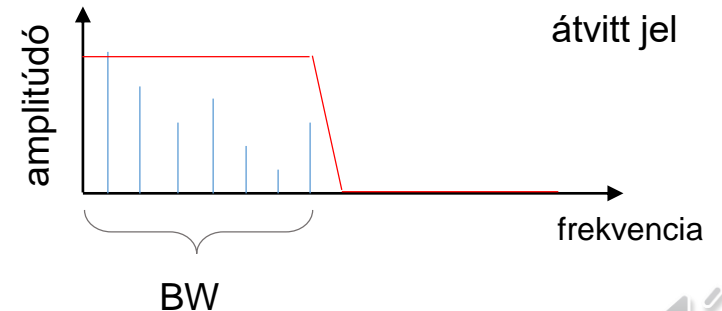
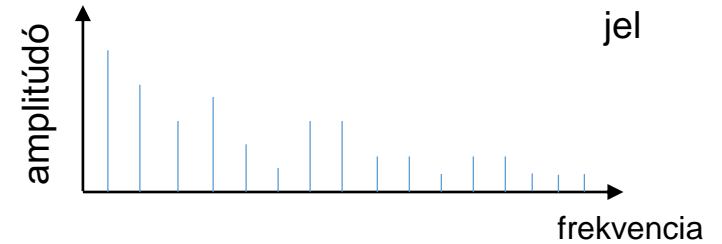
(c)



(d)



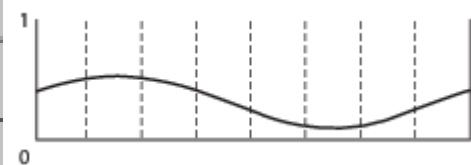
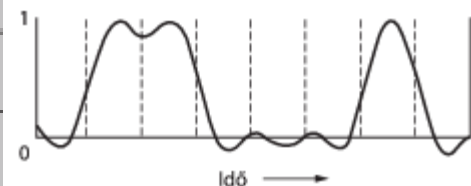
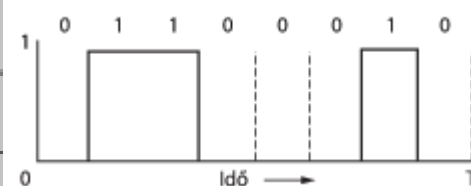
(e)



Sávkorlátozott jelek (2)

Példa: vigyük át az előző példabeli bináris jelet egy telefonvonalon (BW=3000Hz)
Használjunk különféle adatsebességeket (bs)

| b/s | T (ms) | Alapharmonikus (Hz) | Elküldött harmonikusok száma |
|--------|--------|---------------------|------------------------------|
| 300 | 26,67 | 37,5 | 80 |
| 600 | 13,33 | 75 | 40 |
| 1 200 | 6,67 | 150 | 20 |
| 2 400 | 3,33 | 300 | 10 |
| 4 800 | 1,67 | 600 | 5 |
| 9 600 | 0,83 | 1200 | 2 |
| 19 200 | 0,42 | 2400 | 1 |
| 38 400 | 0,21 | 4800 | 0 |



- Minél nagyobb az adatsebesség, annál
- nagyobb az alapharmonikus frekvenciája,
 - kevesebb harmonikust tud átvinni a csatorna
 - torzabb lesz az átvitt jel



A csatorna maximális adatsebessége (1)

Zajmentes csatorna

- Nyquist tétele (mintavételi tétel)
 - Ha a jel sávszélessége kisebb B -nél, akkor másodpercenként $2B$ mintából a jel visszaállítható
 - Tehát nincs értelme több mintát venni, az sem tartalmaz több információt
- Ha a jelet V szintre kvantáljuk (tehát $\log_2 V$ bitet használunk), akkor a maximális adatsebesség:

$$2B \times \log_2 V \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

- Pl.: bináris jel ($V=2$), $B=3000\text{Hz}$ \rightarrow max 6000b/s
- Ez csak zajmentes csatornára igaz!
 - Elvileg bármekkora lehet a sávszélesség, ha V -t növeljük
 - Ha zaj van jelen, akkor a kis különbségek elvesznek a zajban
 - A lehetséges jelszintek száma alacsonyabb. De mennyi?

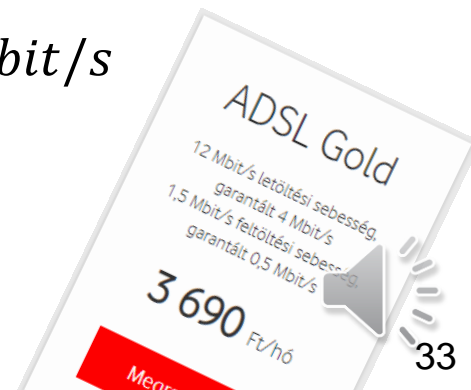
A csatorna maximális adatsebessége (2)

Zajos csatorna

- Zajos csatorna esetén a Shannon formula igaz:

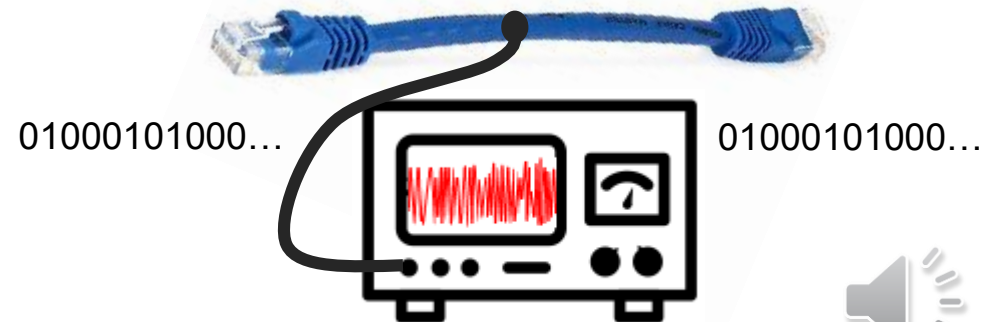
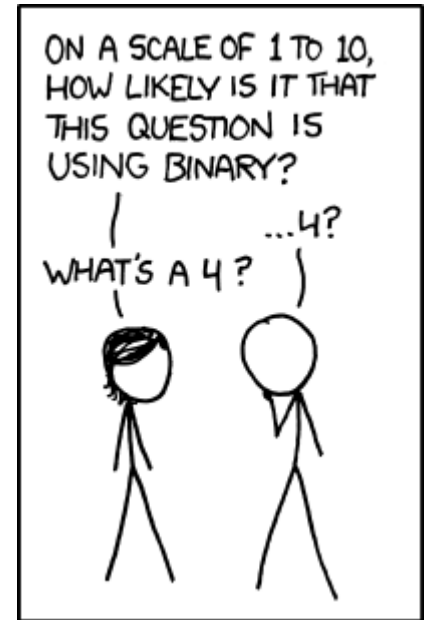
$$\text{max. adatsebesség} = B \times \log_2(1 + S/N) \text{ bit/s}$$

- S/N: jel-zaj viszony
- Pl.: ADSL vonal
 - $B \cong 1\text{MHz}$ (letöltési oldal)
 - S/N függ a távolságtól, 1-2km esetén $S/N \cong 40\text{dB}$ ($= 10000$)
 - Ekkor:
 $\text{max. adatsebesség} = 1\text{MHz} \times \log_2(10001) = 13\text{Mbit/s}$
 - Szolgáltatók 12Mbit/s-ot garantálnak



Digitális moduláció

- Hogyan ábrázoljuk a biteket?
- Alapsávi átvitel
- Sávszélesség hatékony kihasználása
- Órajel visszaállítása
- Kiegyensúlyozott jelek
- Áteresztő sávú átvitel



Alapsávi átvitel

(a) Bitfolyam

1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1

(b) NRZ



(c) Inverz NRZ



(d) Manchester



(A bitekkel xor kapcsolatba
hozott órajel)



(e) Bipoláris kódolás

[vagy alternáló jelinvertálás

(Alternate Mark Inversion, AMI)]



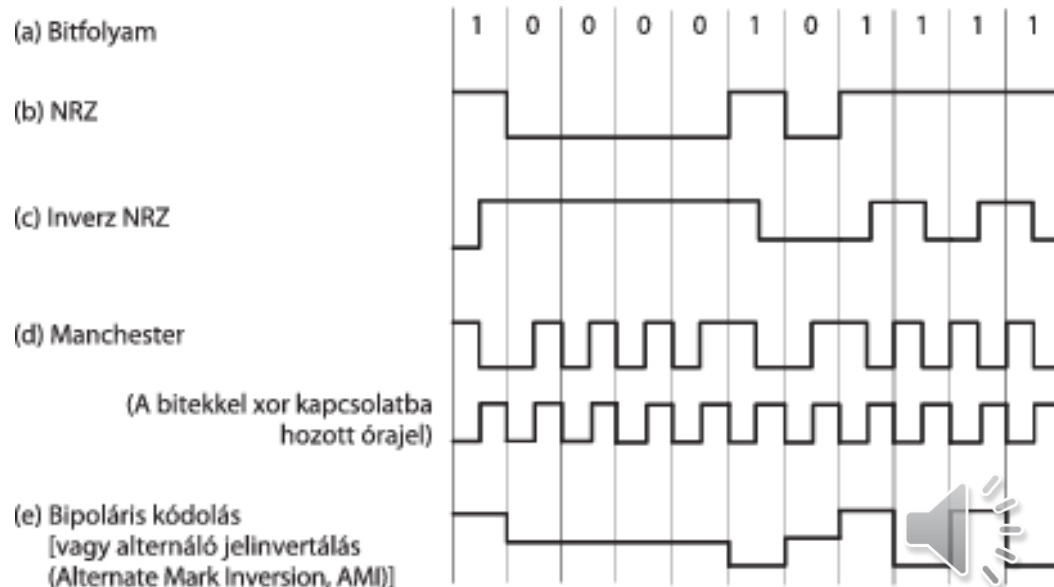
Vonali kódok: (a) a nyers bitek, (b) NRZ, (c) NRZI, (d) Manchester, (e) Bipoláris (AMI)

Sávszélesség hatékony kihasználása

- A sávszélesség sok esetben erősen korlátos
- Megoldás (lásd max. adatsebesség):
 - Használjunk több jelszintet!
 - Négy jelszint alkalmazásával egyszerre 2 bitet küldhetünk egyetlen szimbólummal
 - Működik, ha a vevőnél a jel elég erős ahhoz, hogy a 4 jelszint megkülönböztethető legyen (a jel-zaj viszony elég jó)
 - Adott adatsebességhez a jel változási sebessége fele lett, így a sávszélesség-igény csökkent 😊
- Jelsebesség v. szimbólumsebesség (baud-rate):
 - a szimbólumok változási sebessége
- Adatsebesség (bit-rate):
 - Jelsebesség x szimbólumonkénti bitek száma

Órajel visszaállítása (1)

- A vevőnek tudnia kell, mikor ér véget egy szimbólum és mikor következik a következő
- NRZ esetén néha van változás, ehhez lehet egy helyi órát szinkronizálni
- De mi van, ha hosszú 1 vagy 0 sorozat jön?
- Megoldás:
 - Külön órajel vezeték ☹️
 - Ügyes kódolás:
 - Manchester-kódolás
 - Klasszikus Ethernet
 - 2x sávszélesség ☹️
 - Inverz NRZ
 - USB
 - Sok nullára érzékeny
 - 4B/5B



Órajel visszaállítása (2)

- Minden 4 bites csoportnak feleltessünk meg egy 5 bites sorozatot
- Csak olyan kódokat használunk, amiben nincs 3 egymást követő 0
- 25% többlet (szemben a Manchester 100%-os többletével)

| Data (4B) | Codeword (5B) | Data (4B) | Codeword (5B) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|
| 0000 | 11110 | 1000 | 10010 |
| 0001 | 01001 | 1001 | 10011 |
| 0010 | 10100 | 1010 | 10110 |
| 0011 | 10101 | 1011 | 10111 |
| 0100 | 01010 | 1100 | 11010 |
| 0101 | 01011 | 1101 | 11011 |
| 0110 | 01110 | 1110 | 11100 |
| 0111 | 01111 | 1111 | 11101 |

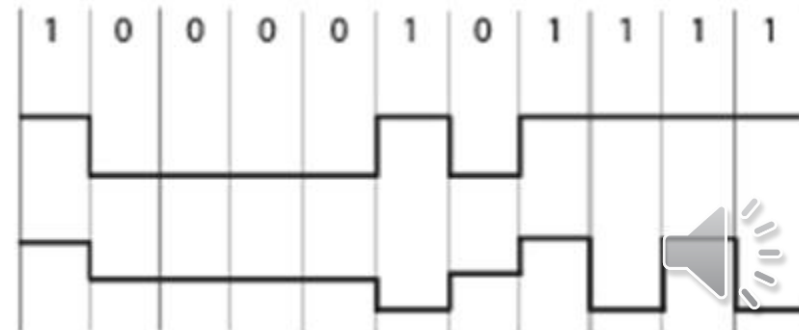
4B/5B kódolás.

Kiegyensúlyozott jelek

- Kiegyensúlyozott jelek
 - A jel ugyanannyi ideig pozitív, mint negatív (rövid távon is)
 - Átlaga 0 (nincs DC komponense)
- Ilyen jeleknél könnyű a jelátmenetek meghatározása (órajel visszaállításához)
- Könnyű a vevők beállítása
- Egyszerű módszer:
 - A logikai 1-et két külön jelszinttel (+ és -) ábrázoljuk, a logikai 0-t pedig 0V-tal.
 - Ez a bipoláris kódolás

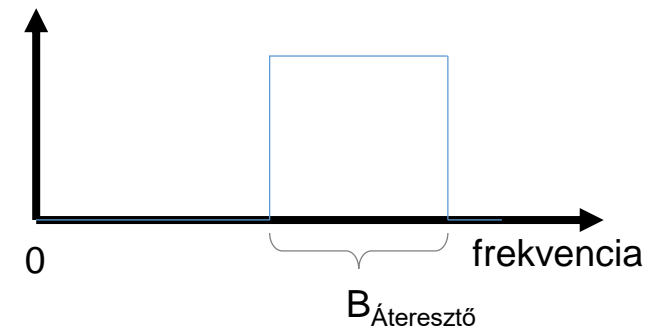
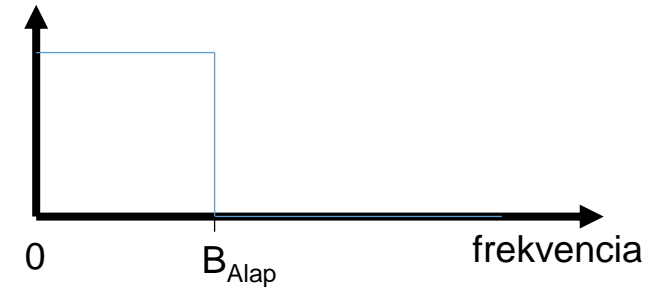
(b) NRZ

(e) Bipoláris kódolás
[vagy alternáló jelinvertálás
(Alternate Mark Inversion, AMI)]



Áteresztő sávú átvitel (1)

- Alapsávi átvitel
 - Jel: 0-tól B -ig
 - Sok esetben ez nem célszerű, vagy nem is lehetséges (pl. rádió)
- Áteresztő sávú átvitel
 - A jel sáv szélessége B , de nem 0-tól kezdődik
 - Minden korábbi eredmény a maximális átviteli sebességre igaz itt is



Áteresztő sávú átvitel (2)

Főbb modulációs eljárások:

- Amplitúdóbillentyűzés (Amplitude Shift Keying)
- Frekvenciabillentyűzés (Frequency Shift Keying)
- Fázisbillentyűzés (Phase Shift Keying)

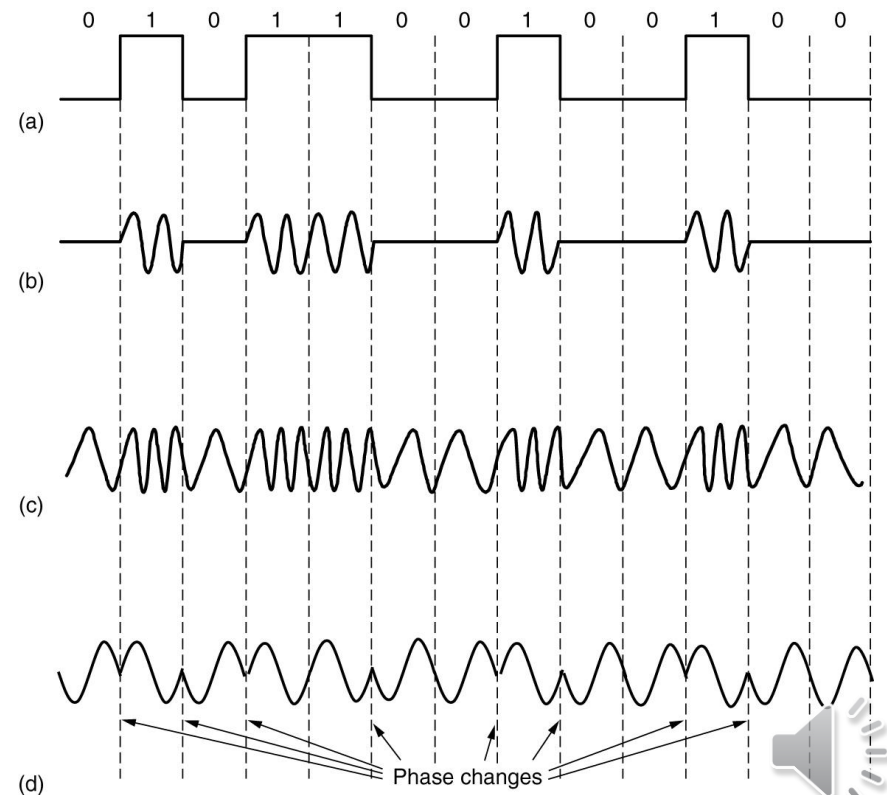
Fázisbillentyűzés:

- BPSK: 2 fázis (Bináris PSK)
- QPSK 4 fázis (kvadratúra PSK)

QAM

- Kvadratúra amplitúdómoduláció

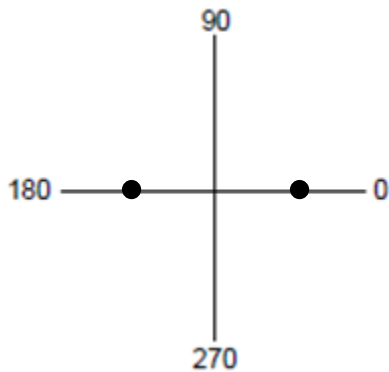
- (a) Bináris jel
- (b) ASK
- (c) FSK
- (d) BPSK



Áteresztő sávú átvitel (3)

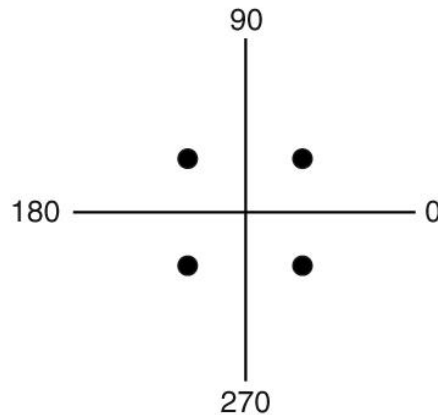
Fázis- és amplitúdómoduláció kombinálható:
QAM: Kvadratúra amplitúdómoduláció

2 szimbólum:
1 bit/szimbólum



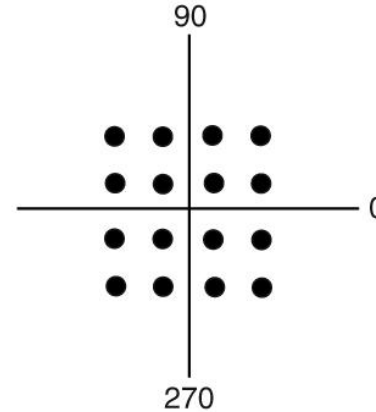
BPSK

4 szimbólum:
2 bit/szimbólum



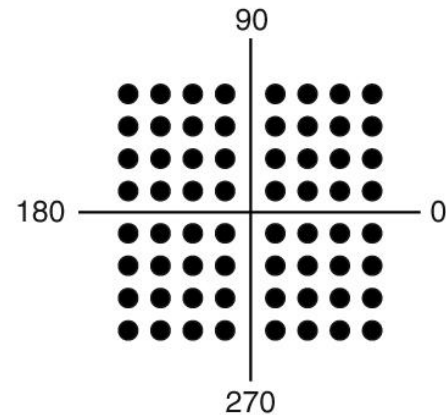
QPSK

16 szimbólum:
4 bit/szimbólum



QAM-16

64 szimbólum:
6 bit/szimbólum



QAM-64

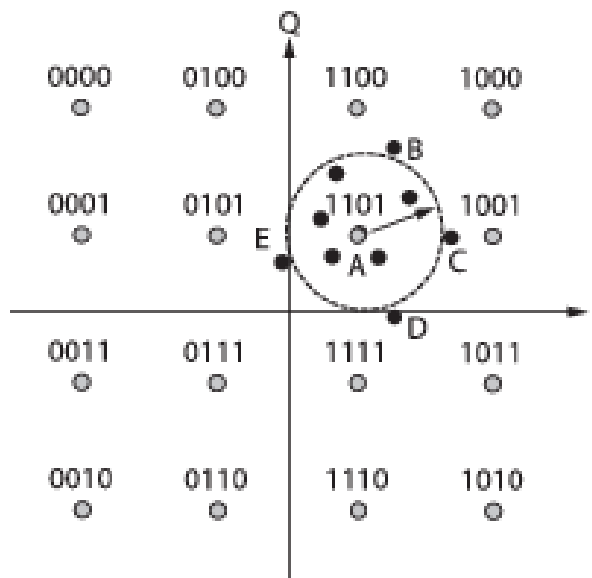
Csak a fázis változik, az amplitúdó állandó

A fázis és az amplitúdó is változik

Áteresztő sávú átvitel (4)

Mely bitsorozatokat rendeljük a QAM szimbólumokhoz?

- Detektálási hiba minél kevesebb bithibát okozzon
- Grey-kódolás: szomszédos szimbólum 1-1 bit távolságra vannak



1001 küldése esetén:

| Pont | Dekódolt érték | Bithibák |
|------|----------------|----------|
| A | 1101 | 0 |
| B | 110 <u>0</u> | 1 |
| C | 1 <u>0</u> 01 | 1 |
| D | 11 <u>1</u> 1 | 1 |
| E | <u>0</u> 101 | 1 |

Gray-kódolású QAM-16

Multiplexelés

A csatornákon egyszerre több jelet is továbbítunk

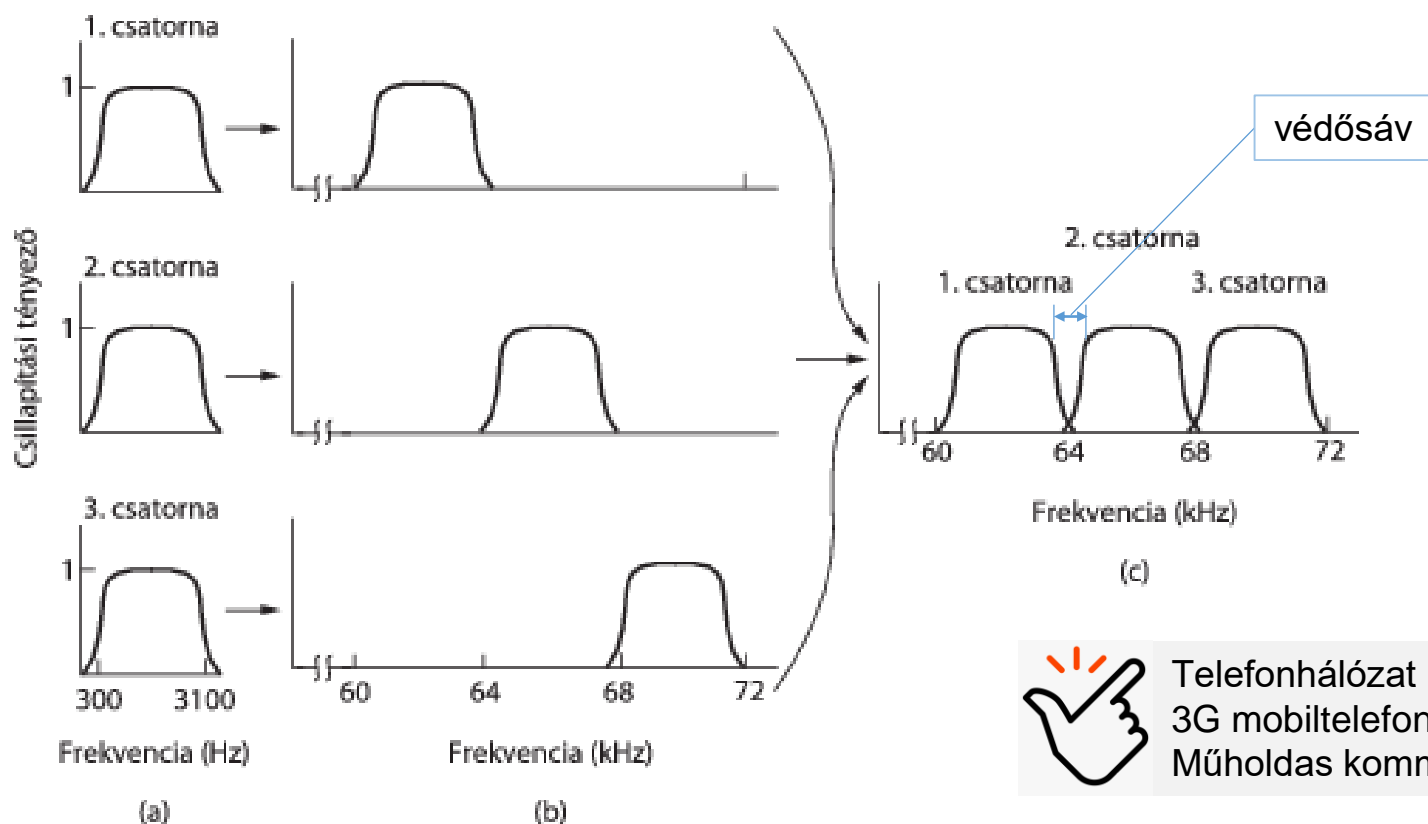
- Frekvenciaosztásos multiplexelés
- Időosztásos multiplexelés
- Kódosztásos multiplexelés
- Hullámhossz-osztásos multiplexelés

Frekvenciaosztásos multiplexelés (1)

Minden felhasználó saját frekvenciasávot kap

Pl. az FM rádió is ilyen elven működik

A tartománynak csak egy részét vesszük igénybe (védősáv), hogy a csatornák ne zavarják egymást

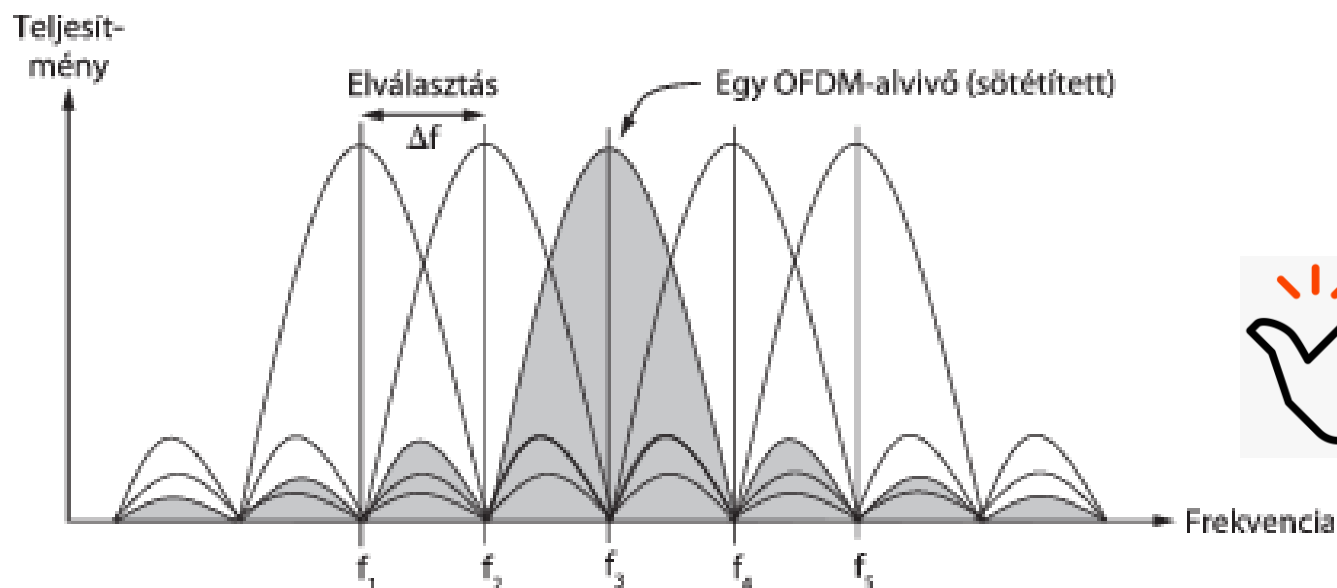


(a) Az eredeti sáv szélességek (b) A frekvenciában eltolott sáv szélességek (c) A multiplexelt csatorna

Frekvenciaosztásos multiplexelés (2)

FDM védősáv alkalmazása nélkül:

- A sávszűrőket úgy alakítjuk ki, hogy a többi sáv közepén az átvitel *pontosan* 0 legyen
- Ez az ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelés (OFDM)
- Az alvivőket pontosan a sáv közepén mintavételezzük



WiFi
4G mobil
Kábeles szolgáltatók
PLC

Ortogonalis frekvenciaosztásos multiplexelés.
A sötét átviteli függvény mutatja az f_3 frekvenciájú vevőhöz kapcsolódó szűrőt.

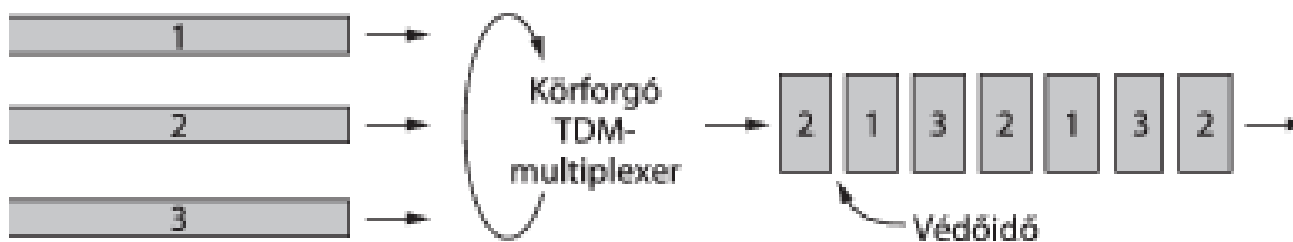


Időosztásos multiplexelés

Minden felhasználó időszeleteket kap



Telefonhálózat
Mobiltelefon-hálózatok
kábelhálózatok



Időosztásos multiplexelés



Kódosztásos multiplexelés (1)

Code Division Multiplexing - CDMA

- A csatornákon egyszerre több jelet is továbbítunk, de
 - itt nincs frekvenciaosztás (ugyanabban a sávban)
 - itt nincs időosztás (egyszerre történik az adás).
 - Hogyan lehet megkülönböztetni a csatornákat?
 - Minden csatornának saját **kódja** van
- Minden bitet több töredékre (**chip**) osztunk.
 - Tipikusan 64 vagy 128 chip/bit (m), egy chip +1 vagy -1
- Ezek sorozata a **töredékszekvencia** (= kód)
 - Logikai 1 bit = töredékszekvencia (S).
 - Pl. $S = (-1 \ +1 \ -1 \ +1)$, itt $m = 4$.
 - Logikai 0 bit = negált töredékszekvencia (\bar{S})
 - Pl. $\bar{S} = (+1 \ -1 \ +1 \ -1)$

Kódosztásos multiplexelés (2)

- Szabályok a kód kiválasztására (Walsh-kód)

- Minden $S \neq T$ kódpárra: $S \cdot T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$.

- Pl.: $S \cdot T = \frac{1}{4} (1 + 1 - 1 - 1) = 0$

- Minden S kódra $S \cdot S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 1$ és $S \cdot \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = -1$

- Pl.: $S \cdot S = \frac{1}{4} (1 + 1 + 1 + 1) = \frac{4}{4} = 1$, $S \cdot \bar{S} = \frac{1}{4} (-1 - 1 - 1 - 1) = \frac{-4}{4} = -1$

Pl.

$$S = (-1 \ +1 \ -1 \ +1)$$

$$T = (-1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

- Dekódolás

- A vett jelsorozatot skalárisan szorozzuk a saját kóddal (S)

- +1: logikai 1, -1: logikai 0, 0: nincs adás

- Pl. 3 állomás egyszerre ad

- A: 1-et ad (A)

- B: 0-et ad (\bar{B})

- C: 1-et ad (C)

- A vett jel: $A + \bar{B} + C$

- A C adás dekódolása:

- $(A + \bar{B} + C) \cdot C = A \cdot C + \bar{B} \cdot C + C \cdot C = 0 + 0 + 1 = 1 \rightarrow$ logikai 1

- A B adás dekódolása:

- $(A + \bar{B} + C) \cdot B = A \cdot B + \bar{B} \cdot B + C \cdot B = 0 - 1 + 0 = -1 \rightarrow$ logikai 0

Kódosztásos multiplexelés (3)

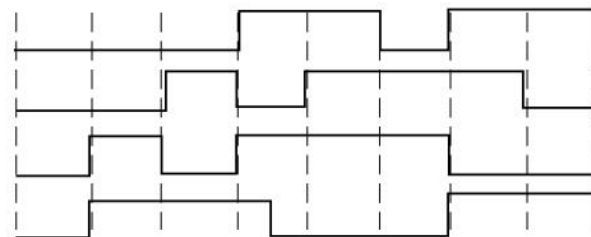
$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

(a)



(b)

C adása:

| | | |
|-----------|---------------------------------------|---|
| Logikai 1 | $S_1 = \textcircled{C}$ | $= (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$ |
| Logikai 1 | $S_2 = B + \textcircled{C}$ | $= (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$ |
| - | $S_3 = A + \bar{B}$ | $= (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$ |
| Logikai 1 | $S_4 = A + \bar{B} + \textcircled{C}$ | $= (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$ |
| Logikai 1 | $S_5 = A + B + \textcircled{C} + D$ | $= (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$ |
| Logikai 0 | $S_6 = A + B + \textcircled{C} + D$ | $= (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$ |

(c)

| | |
|--|--------------|
| $S_1 \bullet C = [1+1+1+1+1+1+1+1]/8 = 1$ | } Logikai 1 |
| $S_2 \bullet C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$ | |
| $S_3 \bullet C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$ | } Nincs adás |
| $S_4 \bullet C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$ | |
| $S_5 \bullet C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$ | } Logikai 1 |
| $S_6 \bullet C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$ | |
| | } Logikai 0 |

(d)

- (a) Töredékszекvenciák az A,B,C,D állomáshoz
- (b) A töredékszекvenciák időfüggvényei
- (c) Hat példa adás
- (d) A C állomás adásának dekódolása a hat példában



Kábelhálózatok
Mobiltelefon-hálózatok
Műholdas kommunikáció



Hullámhossz-osztásos multiplexelés

Wavelength Division Multiplexing - WDMA

Hasonló az FDM-hez, de üvegszálakra

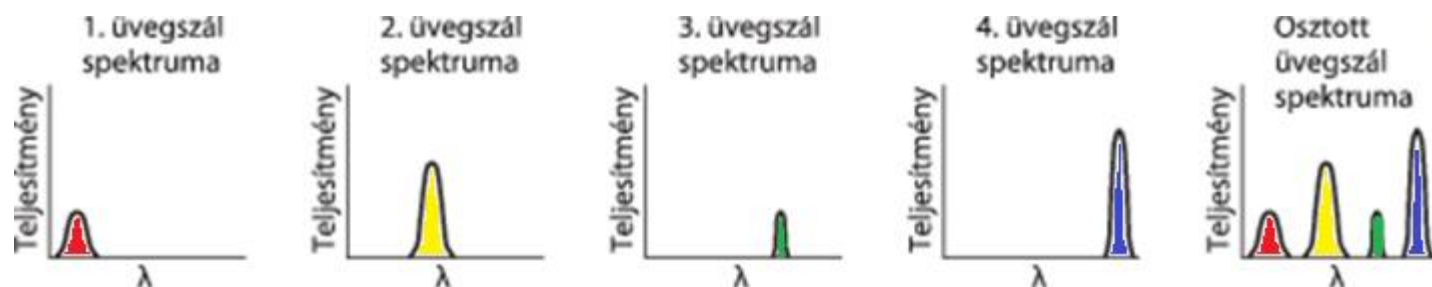
Különböző csatornáknak különböző a hullámhossza (színe)

Hatalmas átviteli sebesség. Pl.:

- 64 csatorna
- Egyenként 40 Gb/s
- Összesen: 2.56 Tb/s



Telefon-hálózatok
trónkvonalai



Példák

- Az előfizetői hurok
 - (A)DSL
 - Kábelhálózat
 - Üvegszál
- Trönkök
 - T1
 - SONET



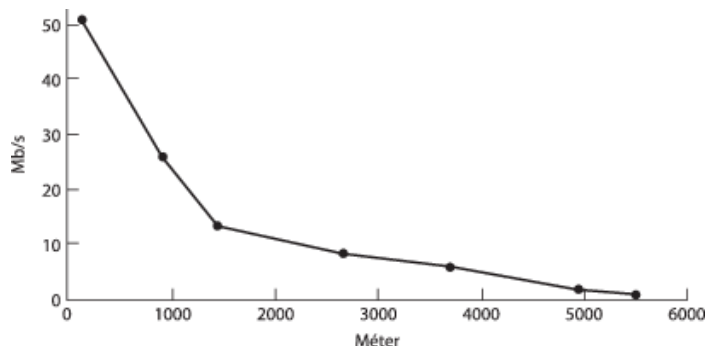
Digitális előfizetői vonal (DSL)

Digital Subscriber Lines – DSL

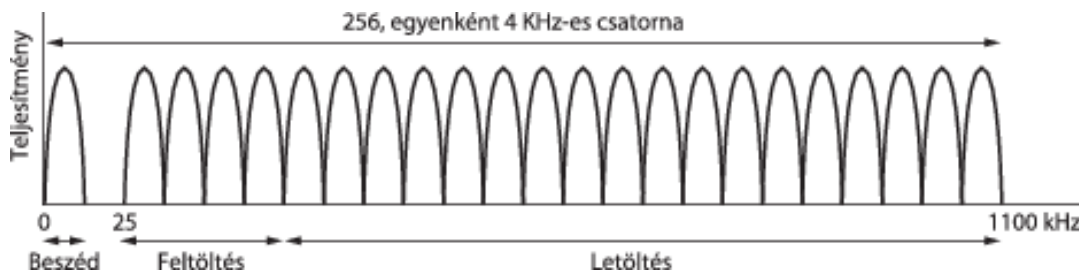
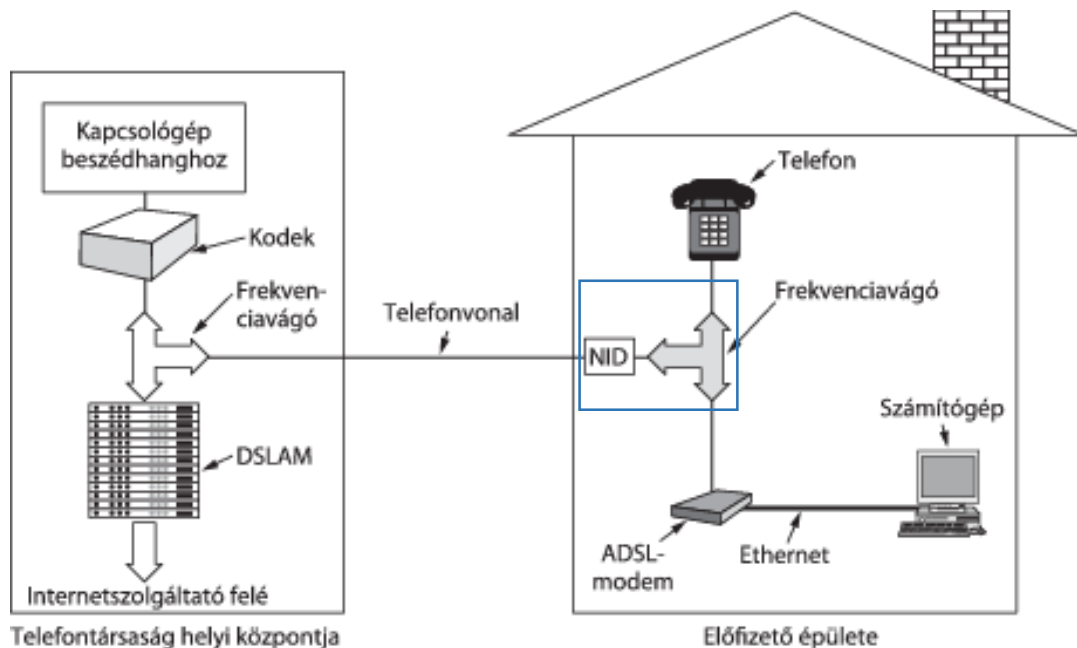
A telefonvonalat (UTP) használja
Az aszimmetrikus változat terjedt el

- ADSL
- Nagy letöltési sávszélesség
- Kis feltöltési sávszélesség
- A sebesség max. 12 Mb/s

ADSL2: OFDM, max. 1.1MHz



DSL-en elérhető adatsebesség Cat-3
UTP kábelrel a távolság függvényében



32 csatorna

216 csatorna

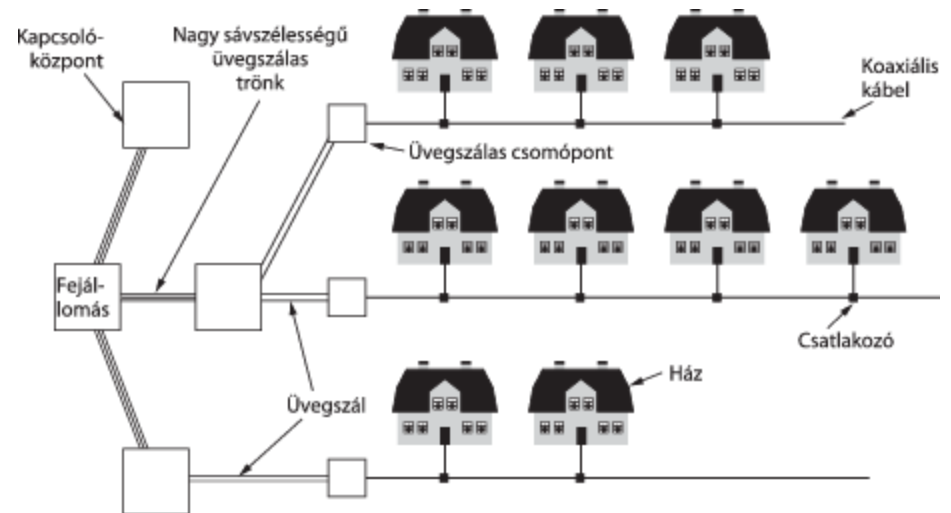


Szélessávú Internet kábelhálózaton (1)

- Üvegszál-koax hibrid (Hybrid Fiber Coax - HFC)
 - Nagy távolságokon a csomópontig: üvegszál
 - Házakhoz: koax

(a) HFC:

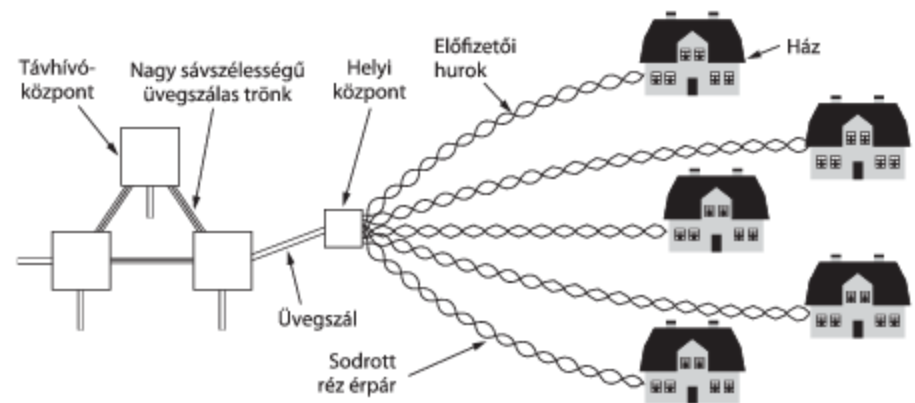
- A koax-on osztozik több háztartás
- Egymással versengenek



(a)

(b) ADSL:

- Mindenkinnek saját sáv szélessége van
- Nincs versengés a szomszédokkal

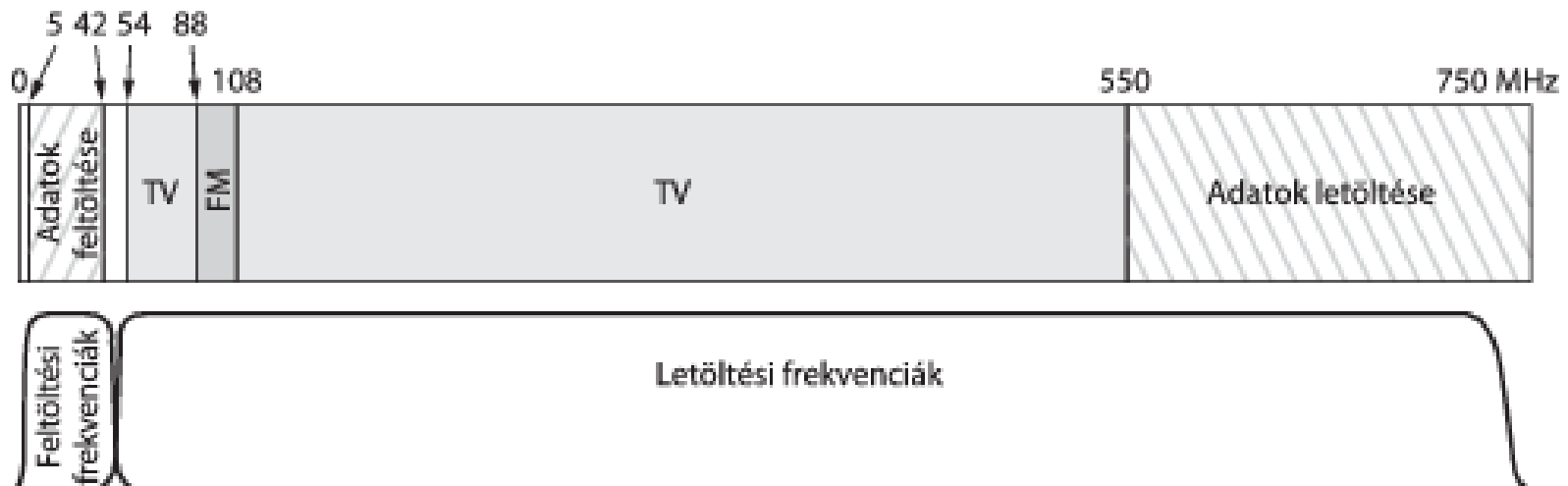


(b)



Szélessávú Internet kábelhálózaton (2)

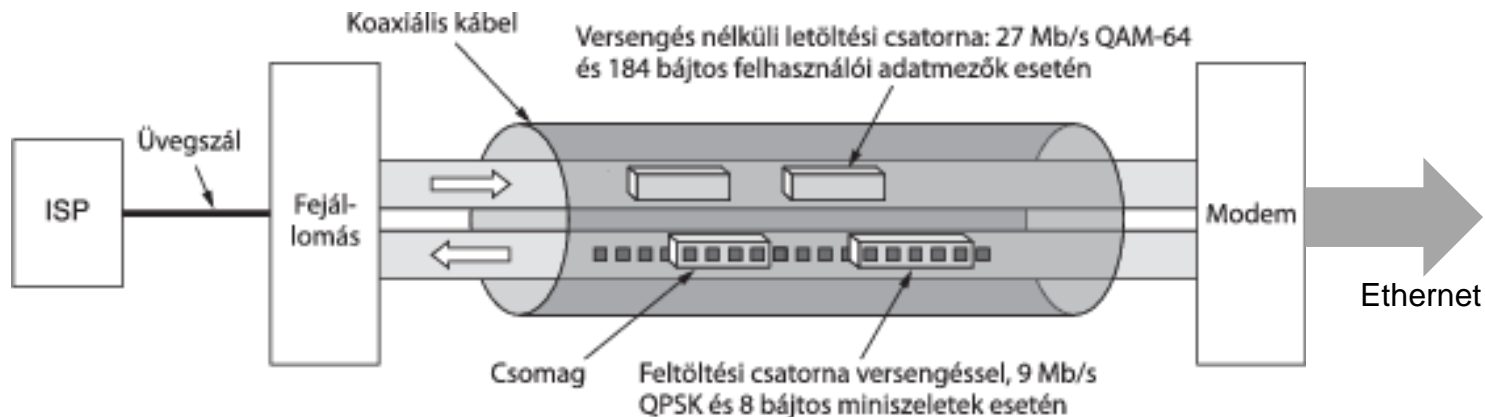
- FDM alkalmazása
 - Hagyományos TV
 - Aszimmetrikus adat:
 - Kis sávszélesség adat feltöltésre
 - Nagy sávszélesség adat letöltésre



Egy internet-hozzáféréshez használt tipikus kábeltvérendszer frekvenciakiosztása

Szélessávú Internet kábelhálózaton (3)

- Kábelmodem:
 - FDM, 6MHz vagy 8MHz széles csatornákon
 - Letöltés:
 - QAM-64 vagy QAM-256 (kábelminőségtől függően)
 - Fix 204B hosszú csomagok (184 B hasznos). NINCS VERSENY
 - Feltöltés
 - Itt több a zaj, konzervatívabb kódolás: QPSK – QAM-128
 - Szinkron mindegyik adó
 - Miniszeletek (minislot): 8 B. Egyik kijelölt szelet kérésre szolgál
 - Adásigény esetén a modem a méretnek megfelelő számú miniszeletet igényel
 - Fejállomás kijelöli a modem számára lefoglalt miniszeleteket, ezt nyugtában elküldi.
 - Egy kérő miniszelethez több modem is lehet rendelve, ilyenkor ütközés lehet
 - CDMA: nincs ütközés
 - ALOHA (időszelételt, 2-es exponenciális visszalépéssel)



Kábel vagy ADSL?

- Kábel:
 - + koaxot használ a felhasználóig (jó sávszélesség)
 - Az letöltött adat mindenkire eljut (kevésbé biztonságos)
 - A sávszélességen a felhasználók osztoznak (változhat)
- ADSL:
 - + Minden felhasználónak dedikált sávszélesség
 - + pont-pont kapcsolat, nincs adatszórás
 - Csavart érpárt használ (kisebb sávszélesség)



Üvegszál a lakásig

Fiber to the Home (FttH)

Gigabites sávszélesség

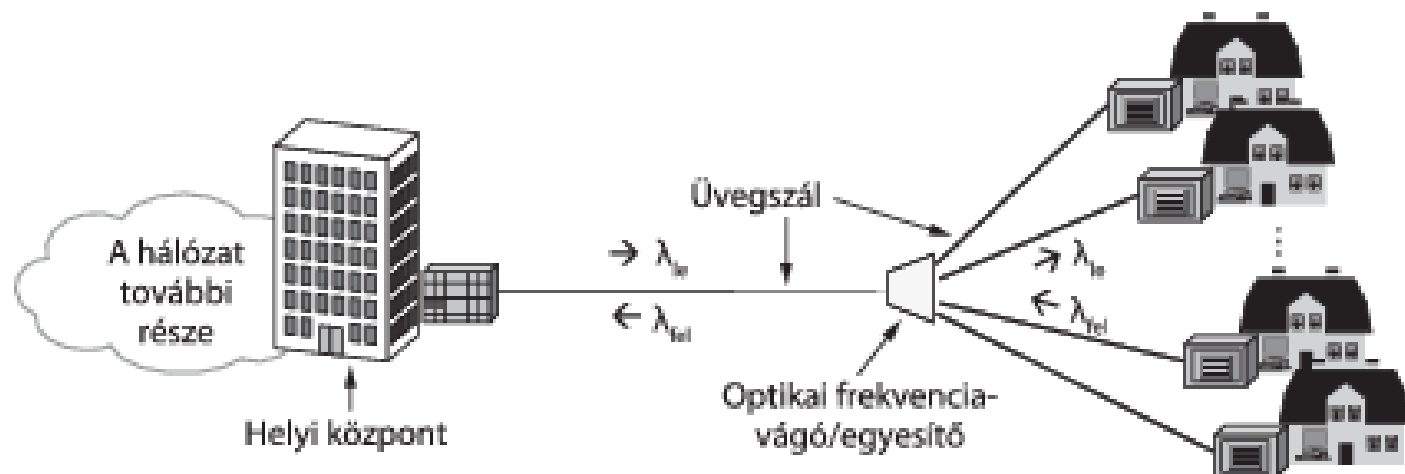
Kb. 100 házanként 1 üvegszál kell

Egy letöltő hullámhossz

- Egyszerű: központból egyetlen jelfolyam (frekvenciavágó osztja szét)
- Titkosítás kell: mindenki mindenki adatát látja

Egy feltöltő hullámhossz

- TDM kell az egyes felhasználók között
- Eszköz időszeletet kér, központ időszeletet ad. Ekkor tölthet fel.



Passzív FttH optikai hálózat

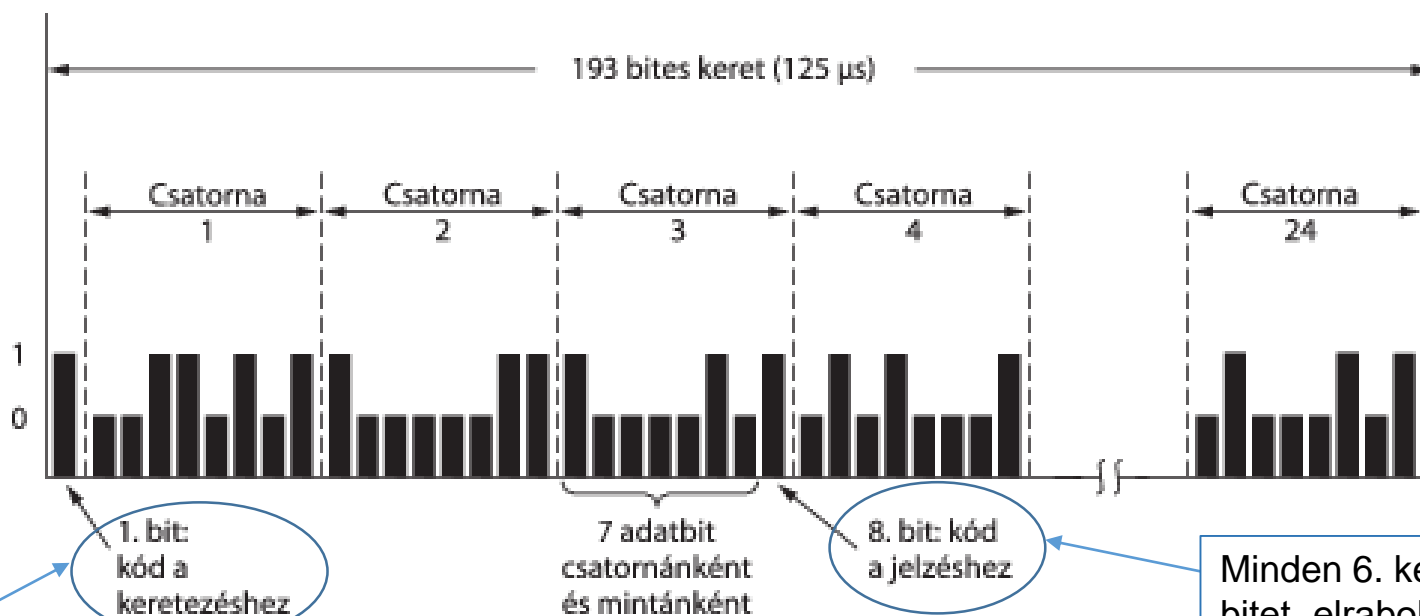
T-vivő (1)

Több hanghívás átvitele a trónkőkön keresztül

Digitális jelek multiplexelése:

- Minden hanghívás 8kHz frekvenciával mintavételezve, 8bit mintánként
- Egy T1 vivő 24 beszédcsatornát nyálából össze
- $24 \times 8\text{bit} + 1$ vezérlőbit = 193 bit $125\mu\text{s}$ -onként

Sebesség: $193 \times 8000 = 1.544\text{Mb/s}$ (ebből 8kB/s jelzésre fordítódik)



Minden 6. keretben egy bitet „elraboltak” minden csatornából: jelzőbitnek használták

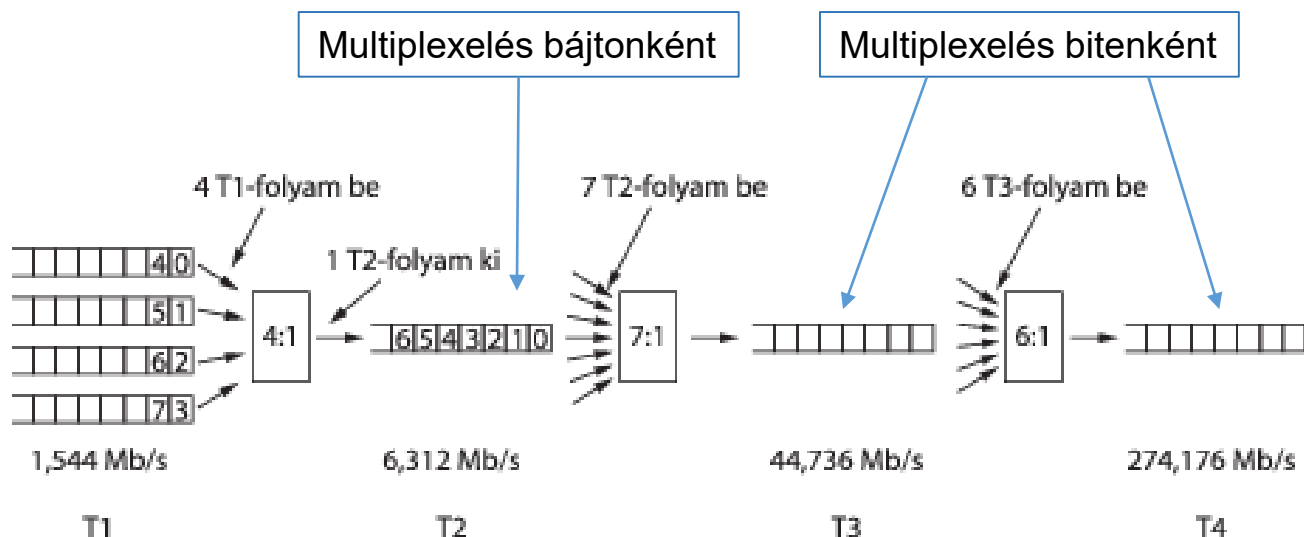
24 keretet egy kiterjesztett superkeretbe csoportosítottunk. Ezek a bitek egy bitmintát adnak: szinkronizáció + jelzés

A T1 vivő (1.544 Mb/s).

T-vivő (2)

A T1 vivőt magasabb rendű vivőkké lehet multiplexelni
Folyamokat „összefésüljük”

- T1-T2: bájtanként
- Fölötte: bitenként



A T1 folyam multiplexelése magasabb rendű vivőkre

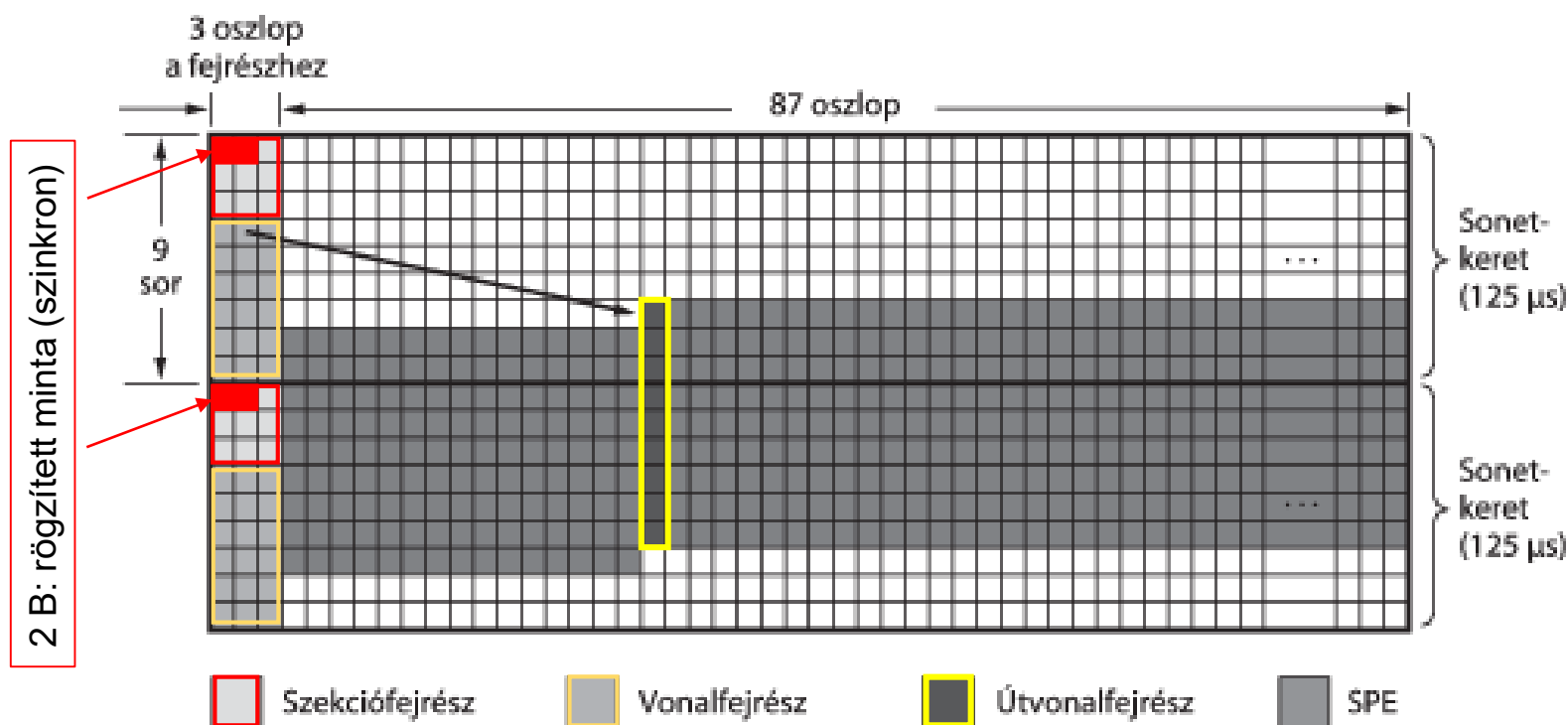
Optikai hálózatok multiplexelése

Optikai (üvegszál) adattovábbítás szabványai:

- Synchronous Optical Network (SONET)
- Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

SONET keret: 810 B (9 x 90)

- Másodpercenként $9 \times 90 \times 8 \times 8000 = 51.84 \text{ Mb/s}$ (ebből felhasználói: $9 \times 87 \times 8 \times 8000 = 50.112 \text{ Mb/s}$)
- A kereteket folyamatosan adjuk (akkor is, ha nincs adat): szinkron
- A hasznos adat (SPE: Synchronous Payload Envelope) bárhol kezdődhet a keretben



Két SONET keret



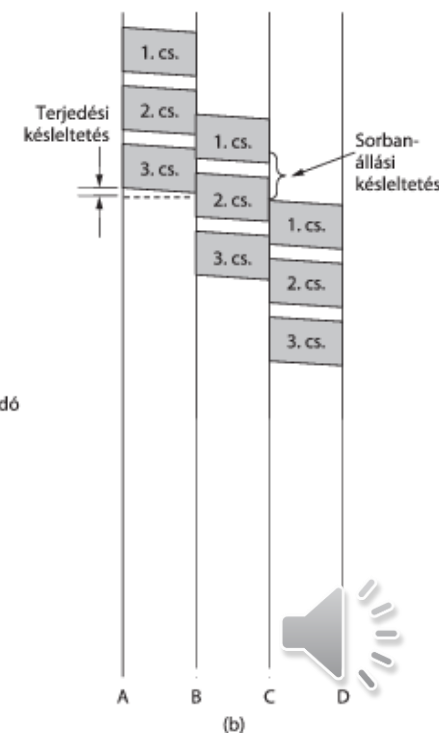
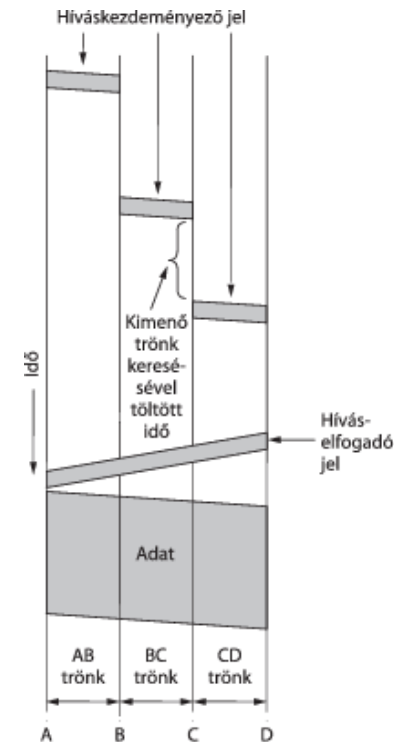
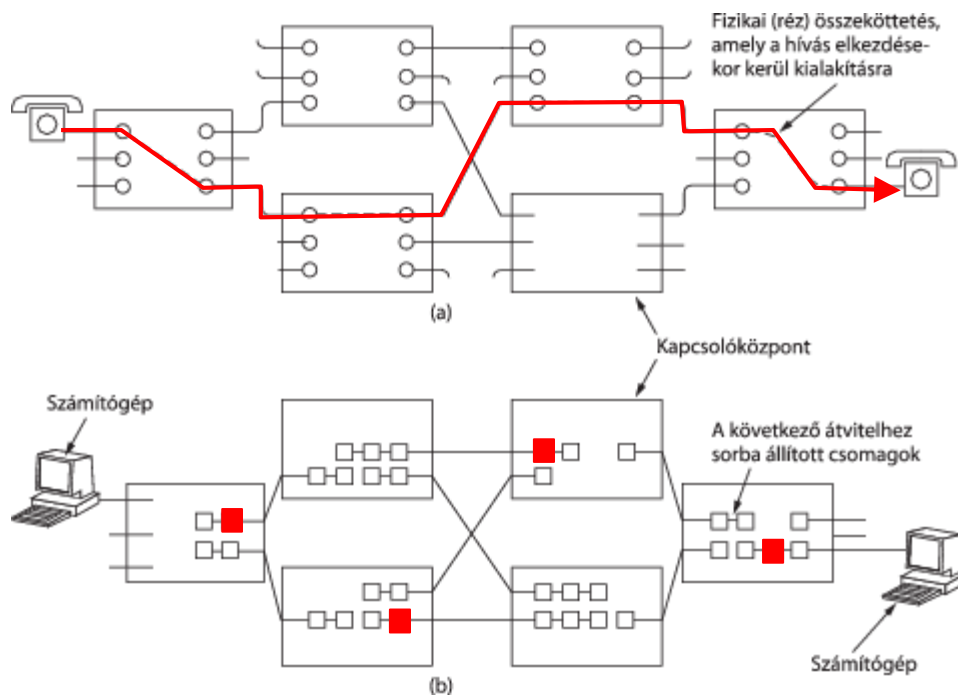
Kapcsolási módok (1)

(a) Vonalkapcsolás (vagy áramkörkapcsolás)

- Pl.: hagyományos telefonhálózat
- Összeköttetés létrehozása az adatok továbbítása előtt. Adatáramlás zökkenőmentes

(b) Csomagkapcsolás

- Pl.: VOIP
- Nincs ÖK létrehozás. Az útvonalválasztókban változó nagyságú késleltetés lehet



Kapcsolási módok (2)

| Tulajdonság | Vonalkapcsolt | Csomagkapcsolt |
|--|-----------------------------|------------------|
| Összeköttetés kiépítése | Szükséges | Nem szükséges |
| Dedikált fizikai útvonal | Igen | Nem |
| Minden csomag ugyanazon az útvonalon halad | Igen | Nem |
| A csomagok sorrendben érkeznek meg | Igen | Nem |
| Egy kapcsoló kiesése végzetes | Igen | Nem |
| Rendelkezésre álló sávszélesség | Rögzített | Változó |
| A torlódások lehetséges ideje | Összeköttetés létesítésekor | Minden csomagnál |
| Veszhet kárba sávszélesség | Igen | Nem |
| Tárol-és-továbbít átvitel | Nem | Igen |
| Számlázás | Perc alapon | Csomag alapon |