

Számítógépes Hálózatok

2. Előadás: Fizikai réteg

Based on slides from **Zoltán Ács ELTE** and D. Choffnes Northeastern U., Philippa Gill from StonyBrook University , Revised Spring 2016 by S. Laki

Fizikai réteg

2



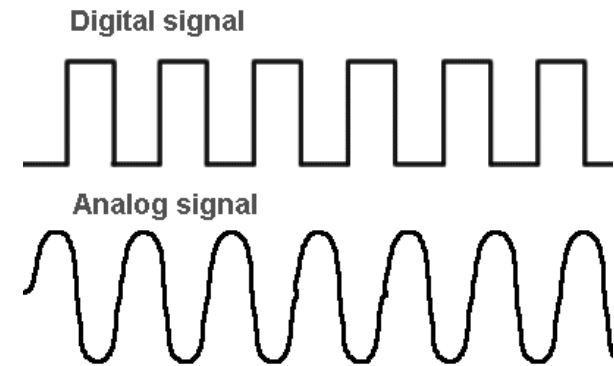
- Szolgáltatás
 - ▣ Információt visz át két fizikailag összekötött eszköz között
 - ▣ definiálja az eszköz és a fizikai átviteli közeg kapcsolatát
- Interfész
 - ▣ Specifikálja egy bit átvitelét
- Protokoll
 - ▣ Egy bit kódolásának sémája
 - ▣ Feszültség szintek
 - ▣ Jelek időzítése
- Példák: koaxiális kábel, optikai kábel, rádió frekvenciás adó

Alapfogalmak

Kihívások

4

- ❑ Digitális számítógépek
 - ▣ Nullák és egyesek
- ❑ Analóg világ
 - ▣ Amplitúdók és frekvenciák



Egyszerű adatátvitel

- 1-es bit: feszültség vagy áramerősség
- 0-ás bit: nincs feszültség

Converting bits to voltage

Bit 1: The switch is turned on.

Bit 0: It is turned off.



Converting voltage to bits

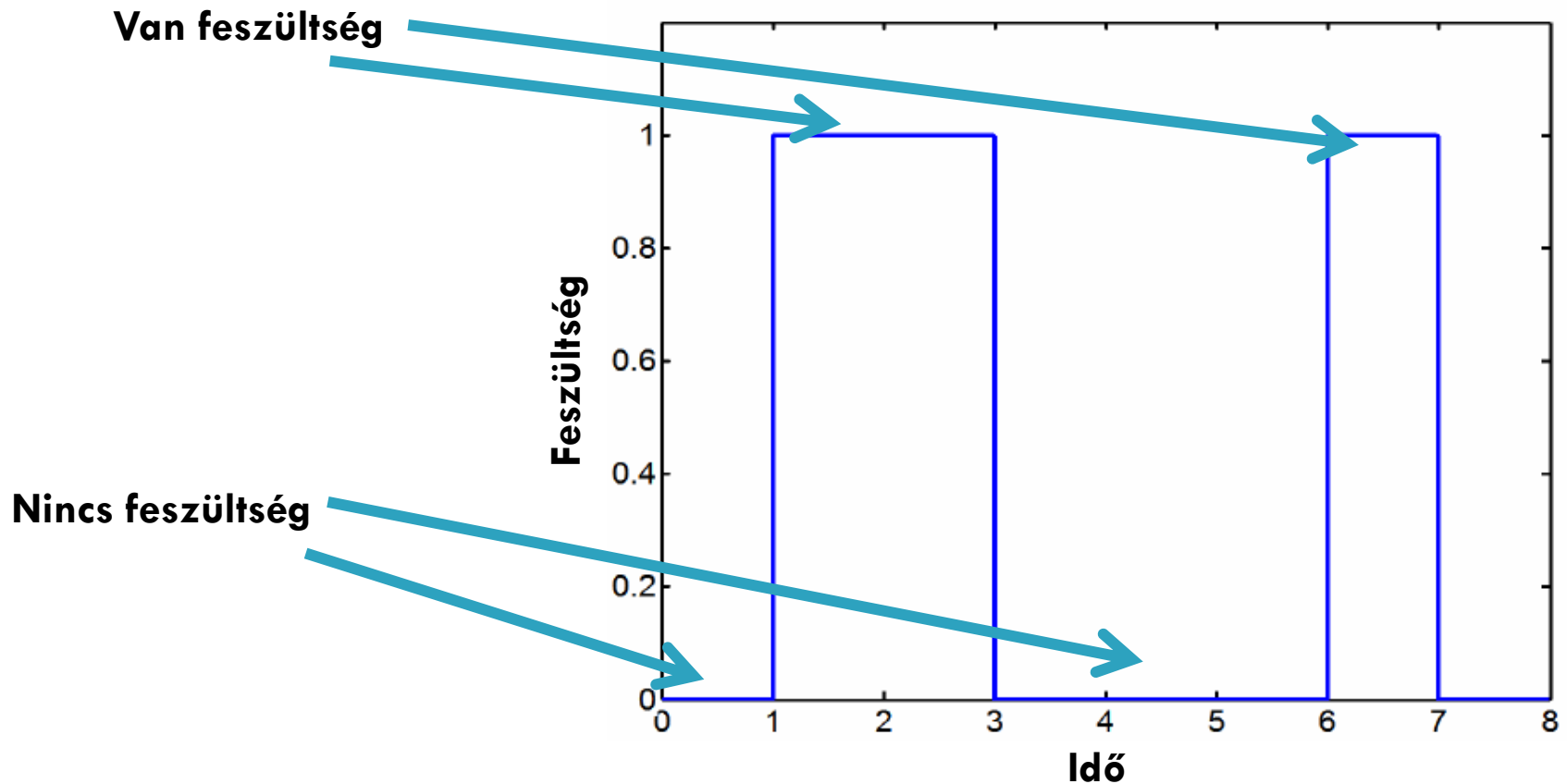
Voltage: Bit 1

No voltage: Bit 0



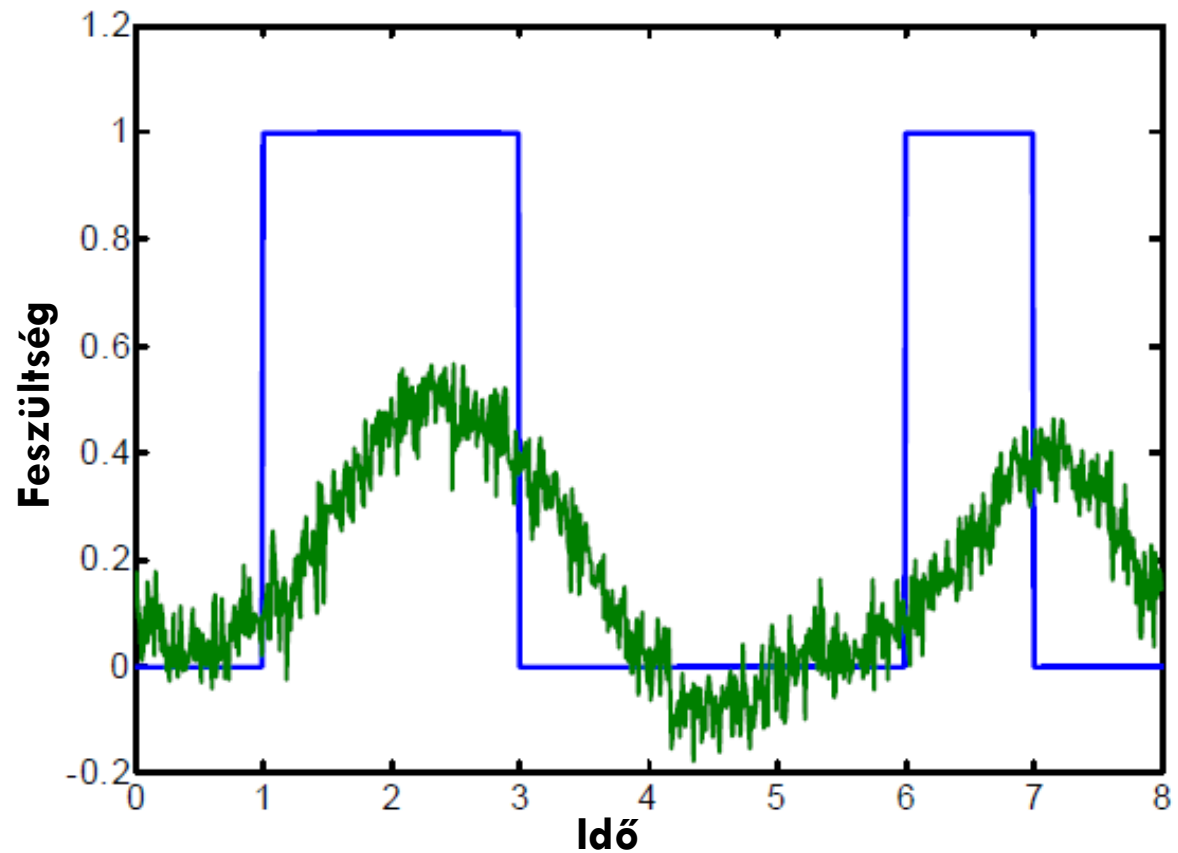
A „b” karakter átvitele

- Egynél több bit szükséges a „b” karakter átviteléhez
- A „b” ASCII kódja bináris formában: 01100010



A „b” karakter átvitele

□ Túl rossz vétel

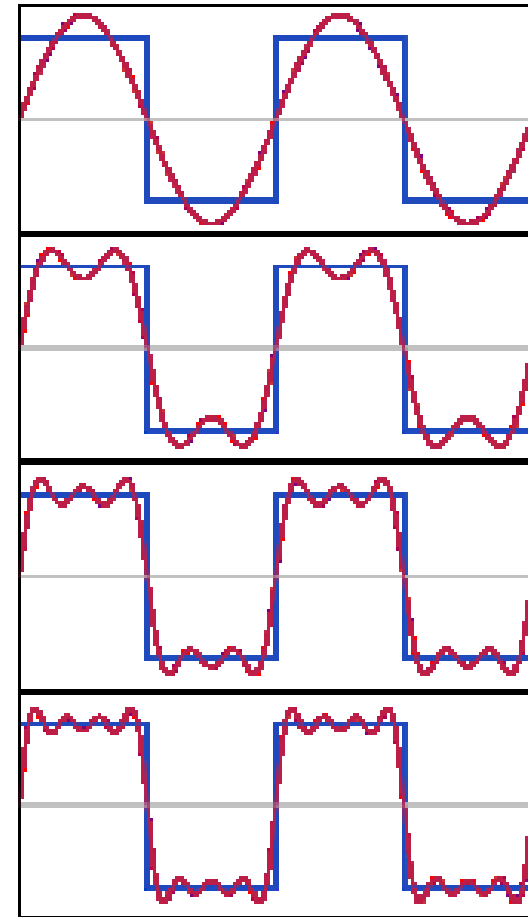


Elméleti alapok – adatátvitel

8

Adatátvitel vezetékek esetén valamilyen fizikai jellemző változtatásával lehetséges (pl.: feszültség, áramerősség)

- a viselkedést $f(t)$ függvénnyel jellemezhetjük
- Bármely T periódusidejű $g(t)$ periodikus függvény előáll a következő alakban:
$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft),$$
ahol $f = \frac{1}{T}$ az alaphfrekvencia, a_n és b_n pedig az n -edik harmonikus szinuszos illetve koszinuszos amplitúdók.



Elméleti alapok – adatátvitel

9

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

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

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

Elméleti alapok – adatátvitel

10

□ Példa

- Tegyük fel, hogy az ASCII „b” karaktert küldjük, amely 8 biten ábrázolható, azaz a bitminta *01100010*.

- A jel Fourier-sora az alábbi együtthatókat tartalmazza:

$$a_n = \frac{1}{\pi n} \left[\cos\left(\pi \frac{n}{4}\right) - \cos\left(3\pi \frac{n}{4}\right) + \cos\left(6\pi \frac{n}{4}\right) - \cos\left(7\pi \frac{n}{4}\right) \right]$$

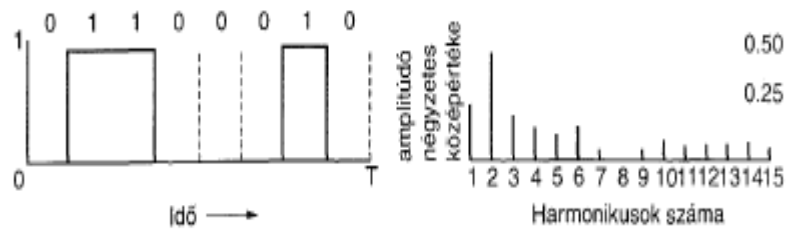
$$b_n = \frac{1}{\pi n} \left[\sin\left(3\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(\pi \frac{n}{4}\right) + \sin\left(7\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(6\pi \frac{n}{4}\right) \right]$$

$$c = \frac{3}{4}$$

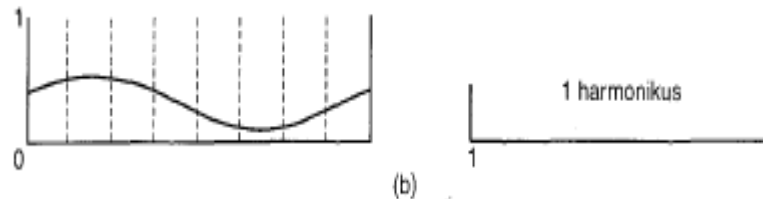
- A harmonikus amplitúdók négyzetösszege arányos a frekvencián továbbított energiával
- (energiavesztés lehetséges)

Elméleti alapok – adatátvitel

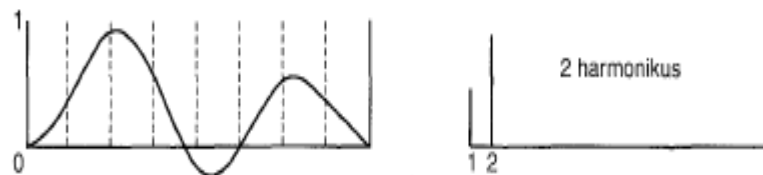
11



(a)

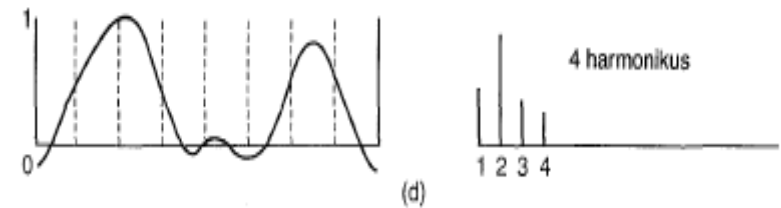


(b)

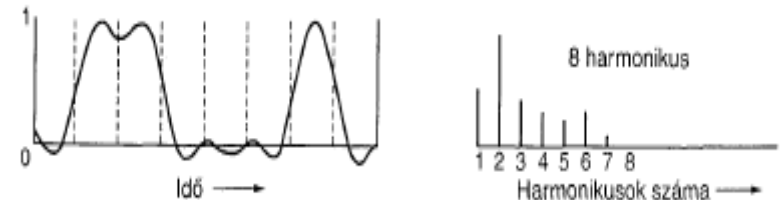


(c)

(Tanenbaum)



(d)



(e)

(Tanenbaum)

Fourier sor felhasználása

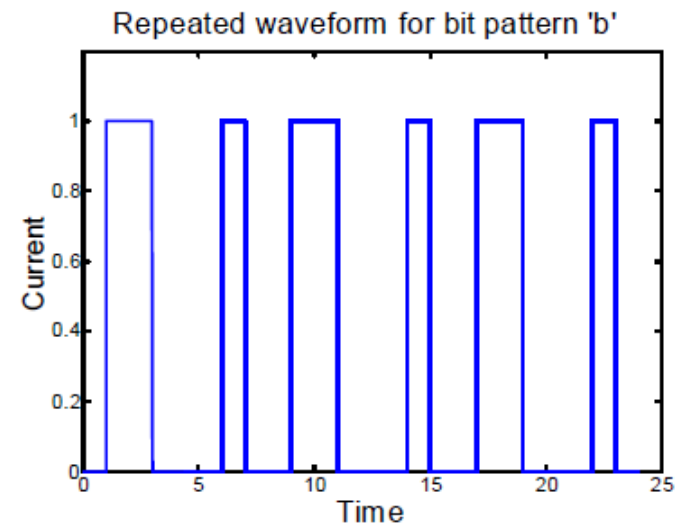
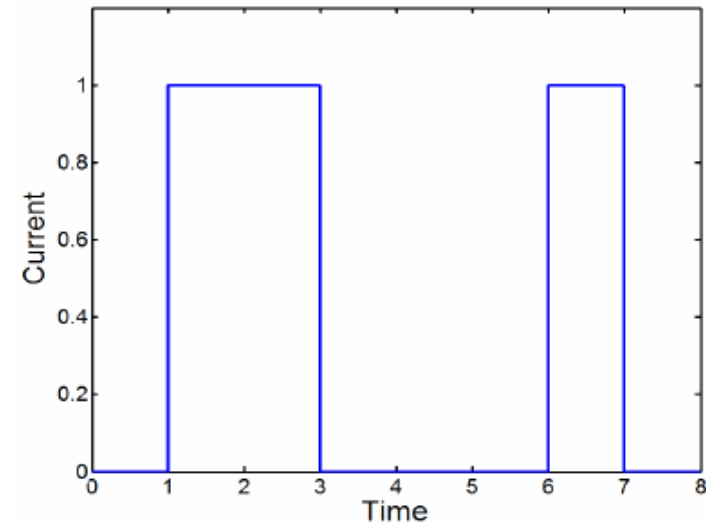
12

□ A digitális szignál nem periodikus

□ Pl. „b” ASCII kódja 8 bit hosszú

□ ...de elképzelhetjük, hogy végtelen sokszor ismétlődik, ami egy periodikus függvényt ad

□ Pl. „b” esetén a periódus 8 bit hosszú



Elméleti alapok - Elnyelődés

13

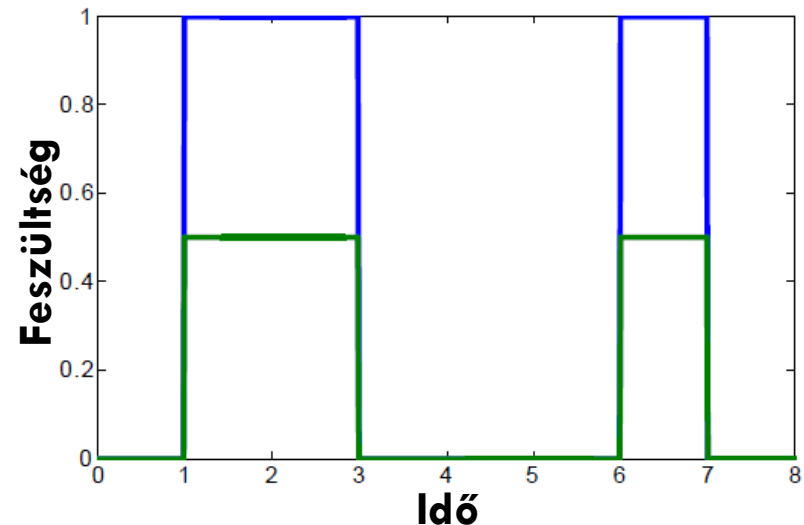
□ Elnyelődés (attenuation): α

- Lényegében a küldési (P_0) és vételi (P_1) energiák hányadosa
- Nagy elnyelődés esetén kevés energia éri el a fogadót
 - A jel helyreállítása lehetetlen
- Mértékegysége deciBel

$$\alpha[in\ dB] = 10 \times \log_{10} \frac{P_0}{P_1} \text{ (deciBel [dB])}$$

□ Az elnyelődést befolyásoló tényezők

- Átviteli közeg
- Adó és vevő távolsága
- ...



Elméleti alapok - Elnyelődés

14

□ Valódi közegben

▣ Frekvenciafüggő elnyelődés

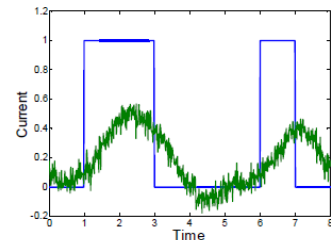
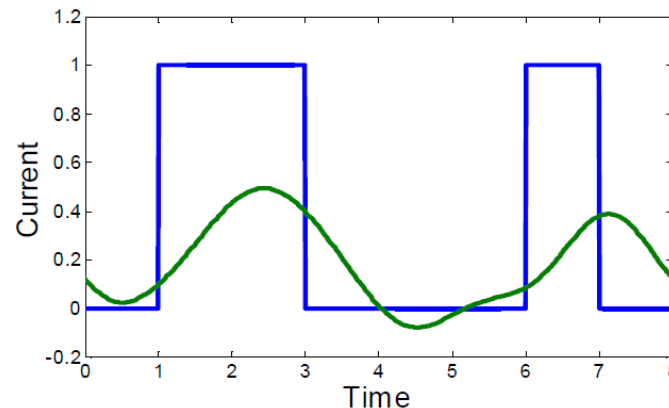
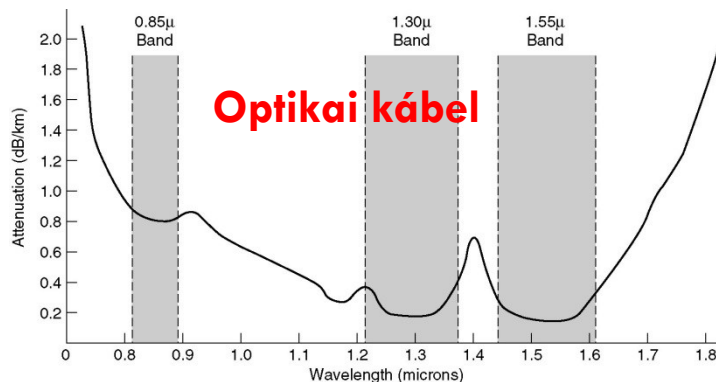
▣ Fáziseltolódás

■ Különböző frekvenciáknak különböző a terjedési sebessége

■ Frekvenciafüggő torzítás

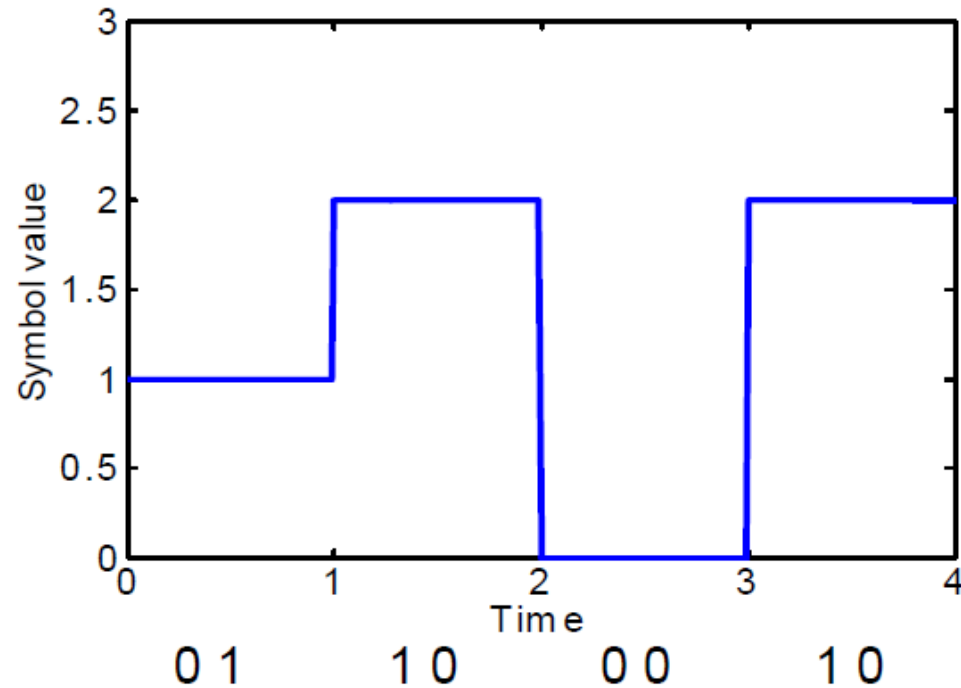
▣ Zaj

■ Hő, más rendszerek zavarása...



Szimbólumok és bitek

- Bitek helyett szimbólumok használata az átvitelhez
- Példa:
 - ▣ Vezessünk be 4 szimbólumot: A(00), B(01), C(10), D(11)
 - ▣ Szimbólum ráta: (BAUD)
 - Elküldött szimbólumok száma másodpercenként
 - ▣ Adat ráta (bps):
 - Elküldött bitek száma másodpercenként



Példa:

Egy 600 Baudos modemmel, ami 16 szimbólumot különböztet meg 2400 bps adatrata érhető el.

Elméleti alapok – adatátvitel

16

| 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 |

Példa:

- **Telefon vonal:** $f_c = 3000 \text{ Hz}$
- **B bps adatsebesség**
- **8 bit átvitele**

Ekkor:

- 8 bit átviteléhez $8/B$ mp szükséges
- Első harmonikus frekvenciája:
 $B/8 \text{ Hz}$
- Legmagasabb átvitt harmonikus száma: $3000/(8/B) = 24000/B$

A **sávszélesség** (angolul „bandwidth”, jelölés: H) az a frekvencia tartományt, amelyen belül a csillapítás mértéke nem túl nagy. [f_c vágási frekvencia]

Szimbólumok száma: V , bináris esetben $V=2$ (0-s bit vagy 1-es bit)

Zaj mentes csatorna: Maximális adatsebesség $= 2H \log_2(V) [b/s]$ (Nyquist-tétel, 1924)

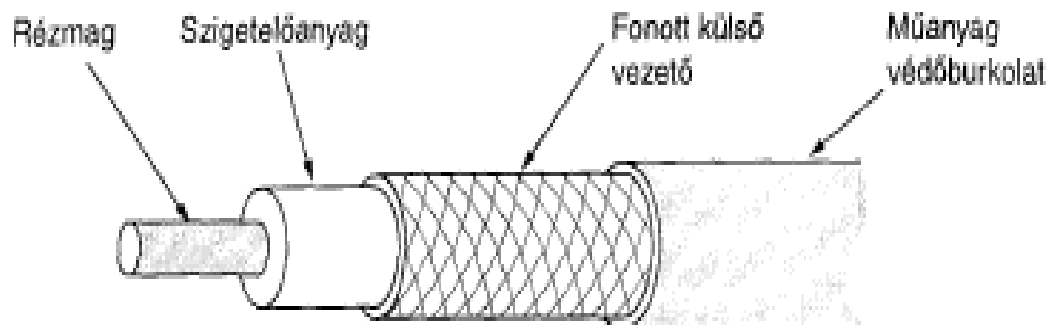
Jel-zaj arány: S/N , a jel és a zaj teljesítményének hányadosa

Zajos csatorna: Maximális adatsebesség $= H \log_2(1 + S/N) [b/s]$ (Shannon-tétel)

Átviteli közegek – vezetékes 1/3

17

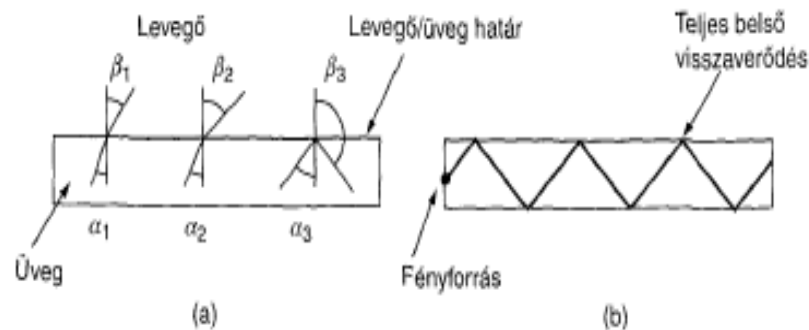
- ❑ **mágneses adathordozók** – sáv szélesség jó, késleltetés nagy (nem on-line kapcsolat)
- ❑ **Sodort érpár** (angolul „*twisted pair*”) – főként távbeszélőrendszerekben használatos; dupla rézhuzal; analóg és digitális jelátvitel; UTP és STP
- ❑ **Koaxális kábel** – nagyobb sebesség és távolság érhető el, mint a sodorttal; analóg ($75\ \Omega$) és digitális ($50\ \Omega$) jelátvitel



Átviteli közegek – vezetékes 2/3

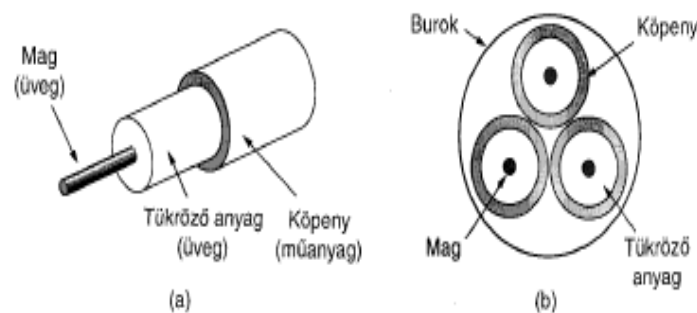
18

- **Fényvezető szálak** – részei: fényforrás, átviteli közeg és detektor; fényimpulzus 1-es bit, nincs fényimpulzus 0-s bit; sugaraknak más-más módusa van (határszög \leq beeső sugar szöge)



(Tanenbaum)

- **Fénykábelek felépítése:**



Átviteli közegek – vezetékes 3/3

19

- **Fénykábelek** összevetése fényimpulzus típusa alapján

| Jellemző | LED | Félvezető lézer |
|------------------------|------------|----------------------|
| Adatátviteli sebesség | Alacsony | Magas |
| Módus | Többmódusú | Több- vagy egymódusú |
| Távolság | Kicsi | Nagy |
| Élettartam | Hosszú | Rövid |
| Hőmérsékletérzékenység | Kicsi | Jelentős |
| Ár | Olcsó | Drága |

Elméleti alapok – vezetékek nélküli adatátvitel

20

- **Frekvencia:** elektromágneses hullám másodpercenkénti rezgésszáma.
 - ▣ Jelölés: f
 - ▣ Mértékegység: Hertz (Hz)

- **Hullámhossz:** két egymást követő hullámcsúcs (vagy hullámvölgy) közötti távolság
 - ▣ Jelölés: λ

- **Fénysebesség:** az elektromágneses hullámok terjedési sebessége vákuumban
 - ▣ Jelölés: c
 - ▣ Értéke: kb. $3 * 10^8 \frac{m}{s}$
 - ▣ Rézben és üvegszáliban ez a sebesség nagyjából a 2/3-adára csökken
- Összefüggés a fenti mennyiségek között: $\lambda f = c$

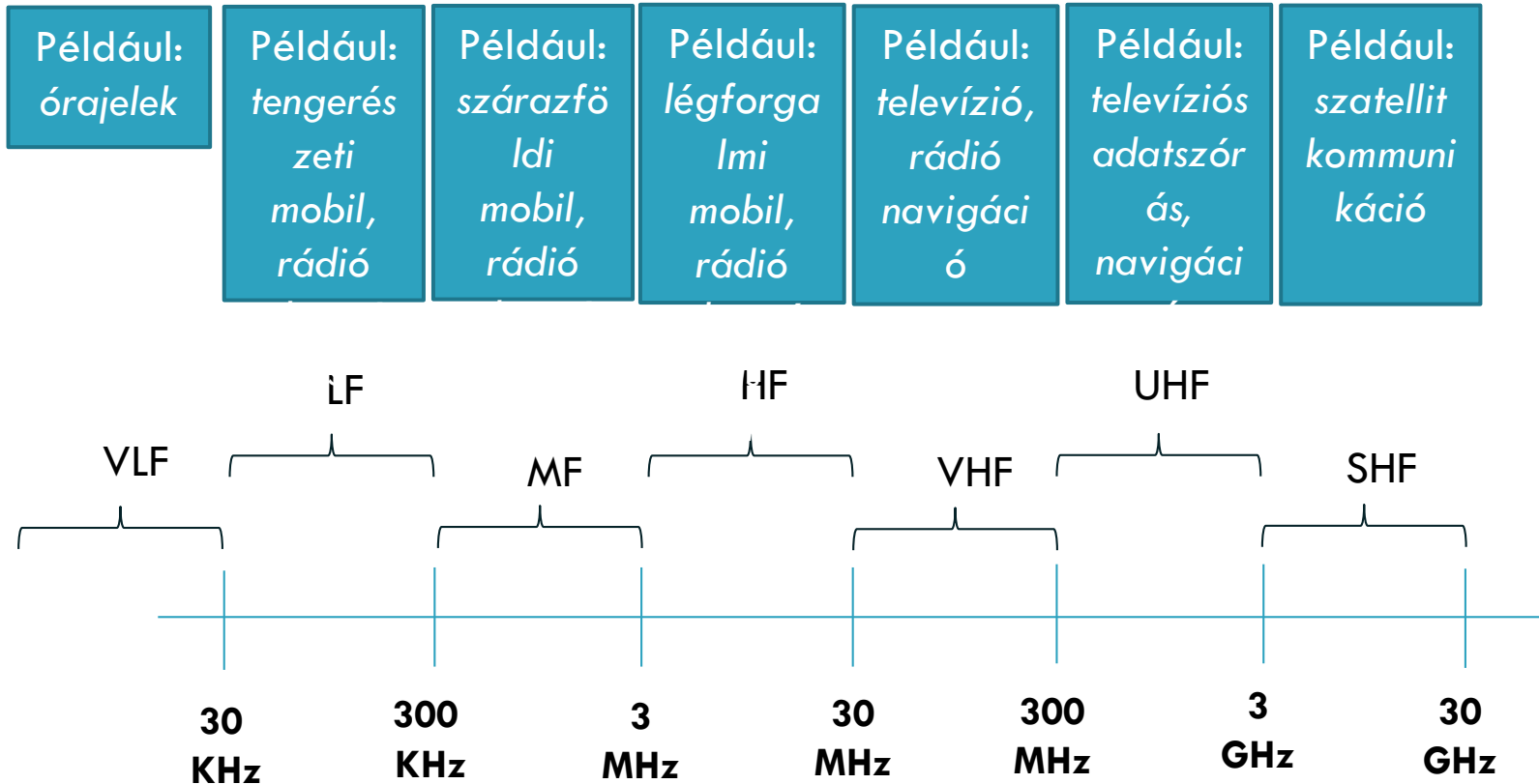
Elméleti alapok – elektromágneses spektrum

21

| Tartomány neve | Hullámhossz (centiméter) | Frekvencia (Hertz) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Rádió | 10 | $< 3 * 10^9$ |
| Mikrohullám | 10 - 0.01 | $3 * 10^9 - 3 * 10^{12}$ |
| Infravörös | 0.01 - $7 * 10^{-5}$ | $3 * 10^{12} - 4.3 * 10^{14}$ |
| Látható | $7 * 10^{-5} - 4 * 10^{-5}$ | $4.3 * 10^{14} - 7.5 * 10^{14}$ |
| Ultraibolya | $4 * 10^{-5} - 10^{-7}$ | $7.5 * 10^{14} - 3 * 10^{17}$ |
| Röntgen sugarak | $10^{-7} - 10^{-9}$ | $3 * 10^{17} - 3 * 10^{19}$ |
| Gamma sugarak | $< 10^{-9}$ | $> 3 * 10^{19}$ |

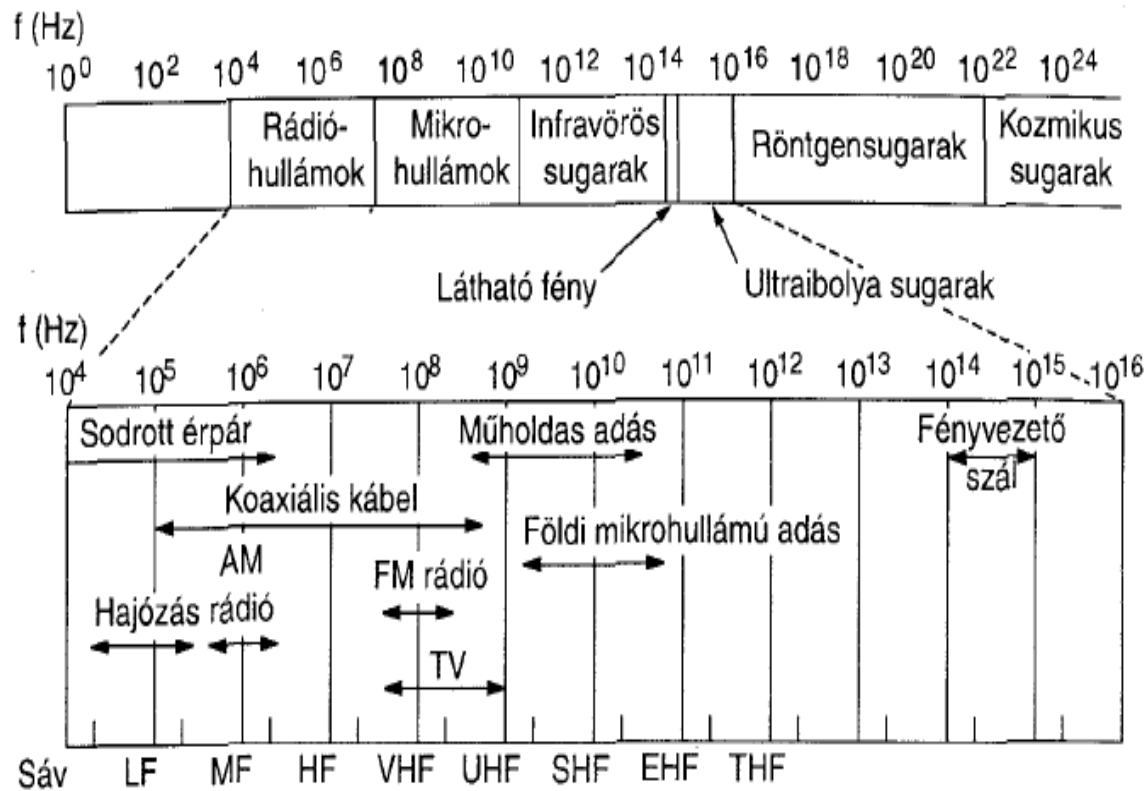
Elméleti alapok – elektromágneses spektrum

22



Elméleti alapok – elektromágneses spektrum

23

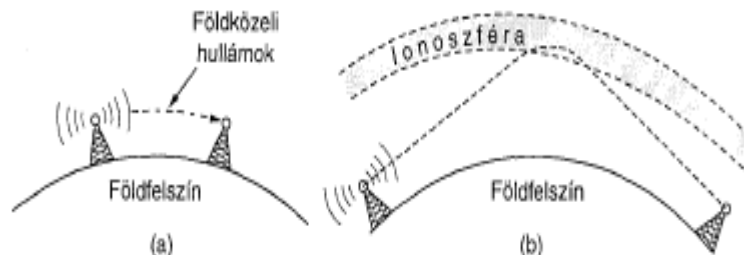


[Forrás: Tanenbaum]

Átviteli közegek – vezeték nélküli

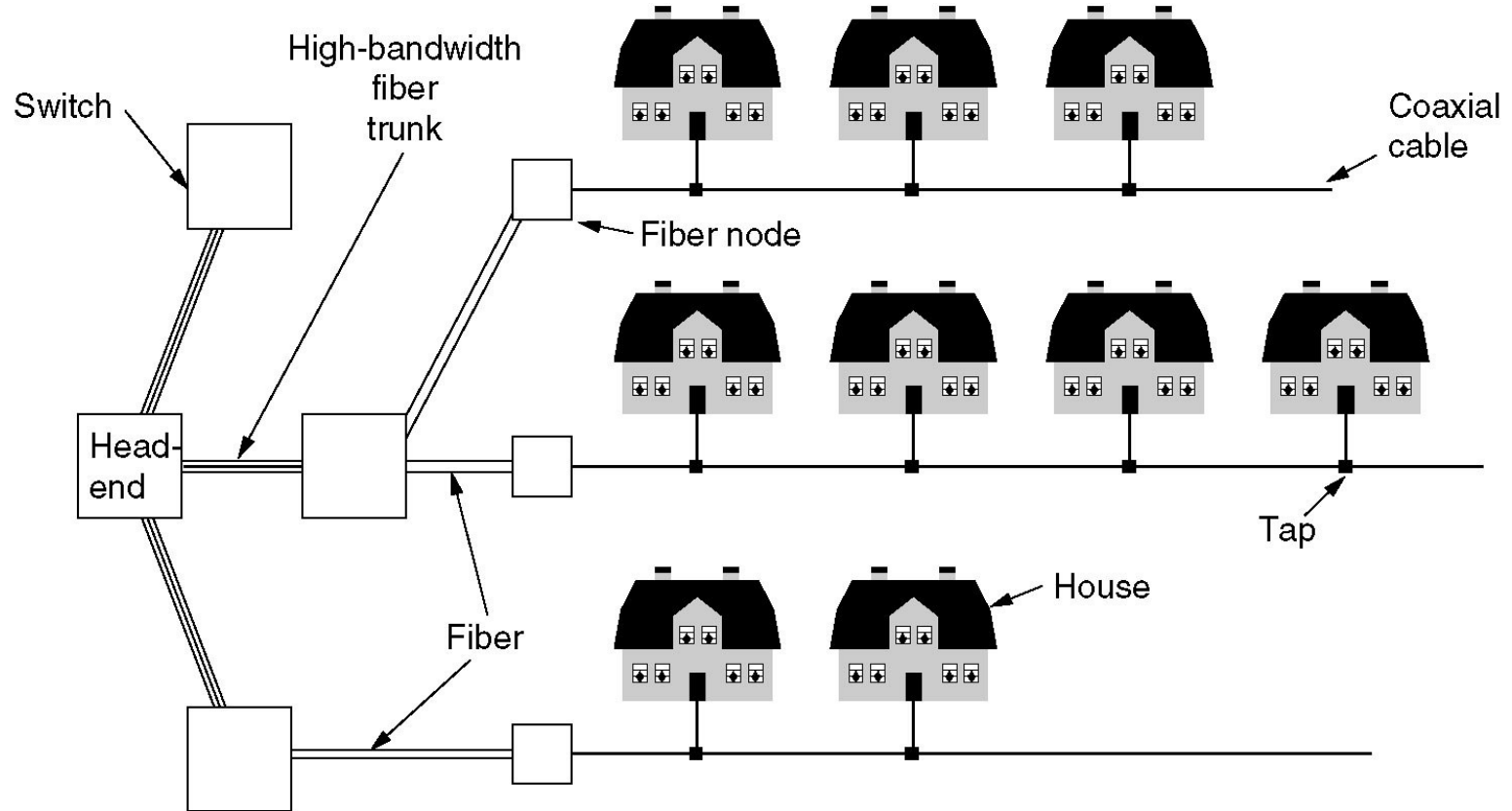
24

- **Rádiófrekvenciás átvitel** – egyszerűen előállíthatóak; nagy távolság; kültéri és beltéri alkalmazhatóság; frekvenciafüggő terjedési jellemzők



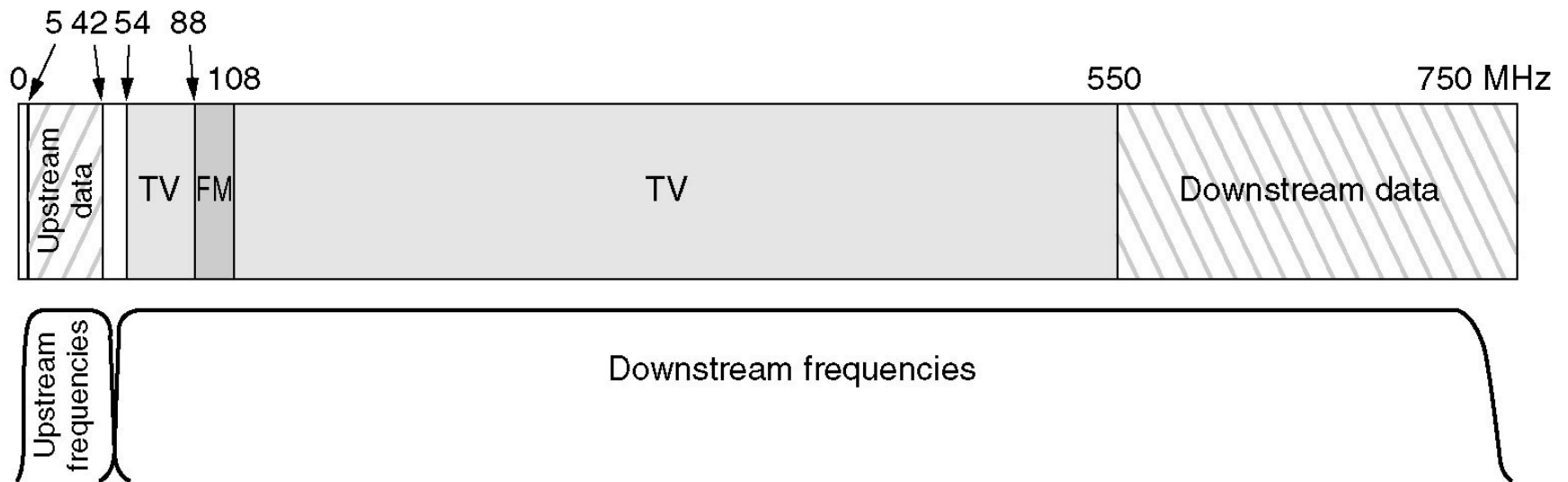
- **Mikrohullámú átvitel** – egyenes vonal mentén terjed; elhalkulás problémája; nem drága
- **Infravörös és milliméteres hullámú átvitel** – kistávolságú átvitel esetén; szilárd tárgyakon nem hatol át
- **Látható fényhullámú átvitel** – lézerforrás + fényérzékelő; nagy sáv szélesség, olcsó, nem engedélyköteles; időjárás erősen befolyásolhatja;

Internet a kábel TV hálózaton



(a)

Internet a kábel TV hálózaton



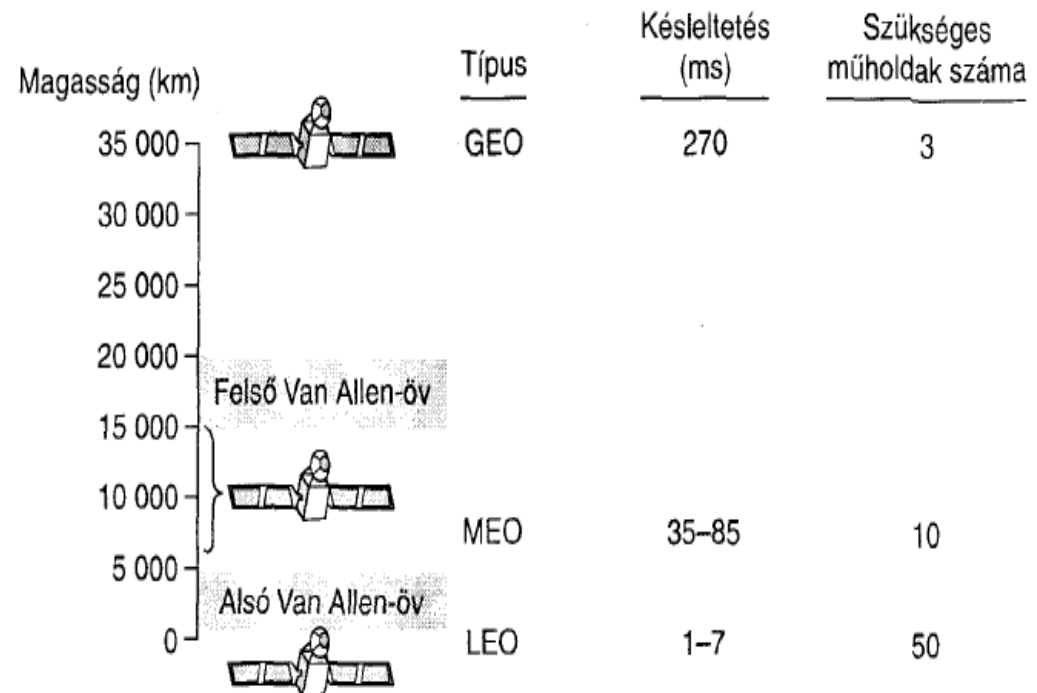
Frekvencia kiosztás egy tipikus kábel TV alapú
Internet elérés esetén

Átviteli közegek – kommunikáció műholdak

27

JELLEMZŐK

- *Transzpondereket tartalmaz a spektrum részek figyelésére*
- *Jeleket felerősíti és továbbítja egy másik frekvencián*
 - ▣ *széles területen vagy*
 - ▣ *keskeny területen*
- *Magassággal nő a keringési idő is.*



[Forrás: Tanenbaum]

Átviteli közegek – kommunikáció műholdak

28

FAJTÁI

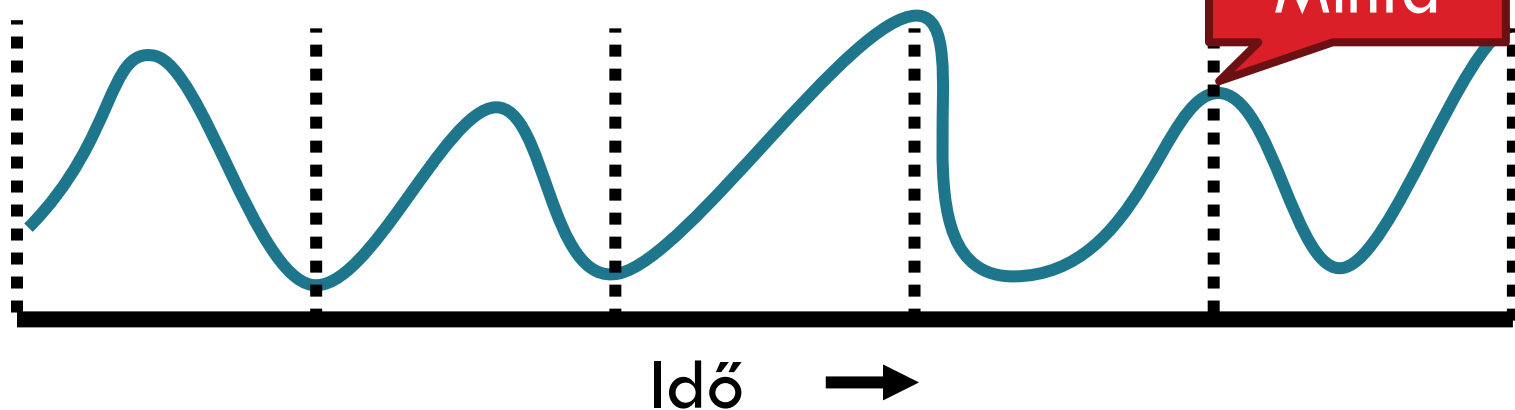
- **Geoszinkron műholdak** – 270 milliszekundum késleltetés, 3 műhold szükséges a föld lefedésére, 35800 kilométeres magasságban keringenek
- **Közepes röppályás műholdak** – 35-85 milliszekundum késleltetés, 10 műhold szükséges a föld lefedésére, a két Van Allen-öv közötti magasságban keringenek
- **Alacsony röppályás műholdak** – 1-7 milliszekundum késleltetés, 50 műhold szükséges a föld lefedésére, az alsó Van Allen-öv alatti tartományban keringenek

Adatátvitel

Kiinduló feltételek

30

- Két diszkrét jelünk van, ahol magas érték kódolja az 1-et és alacsony a 0-át.
- Szinkron átvitel, pl. adott egy óra, ami a jel mintavételezését vezérli



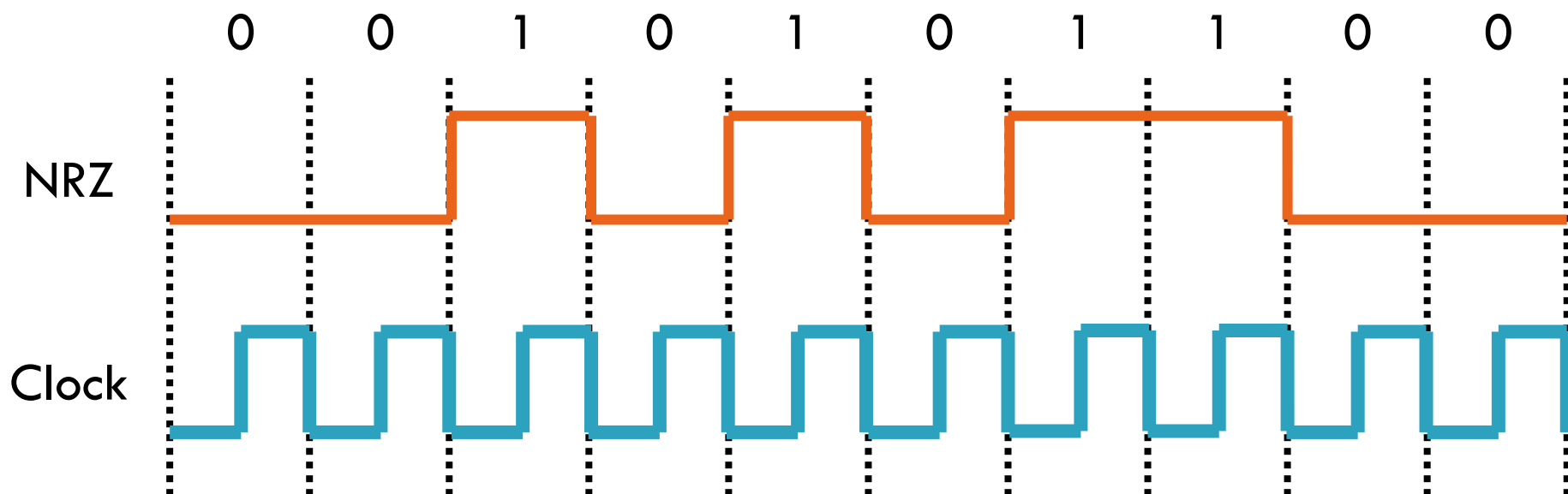
- A jel amplitúdója és az időbeli kiterjedése a fontos



Non-Return to Zero (NRZ) kódolás

31

□ 1 → magas jel, 0 → alacsony jel



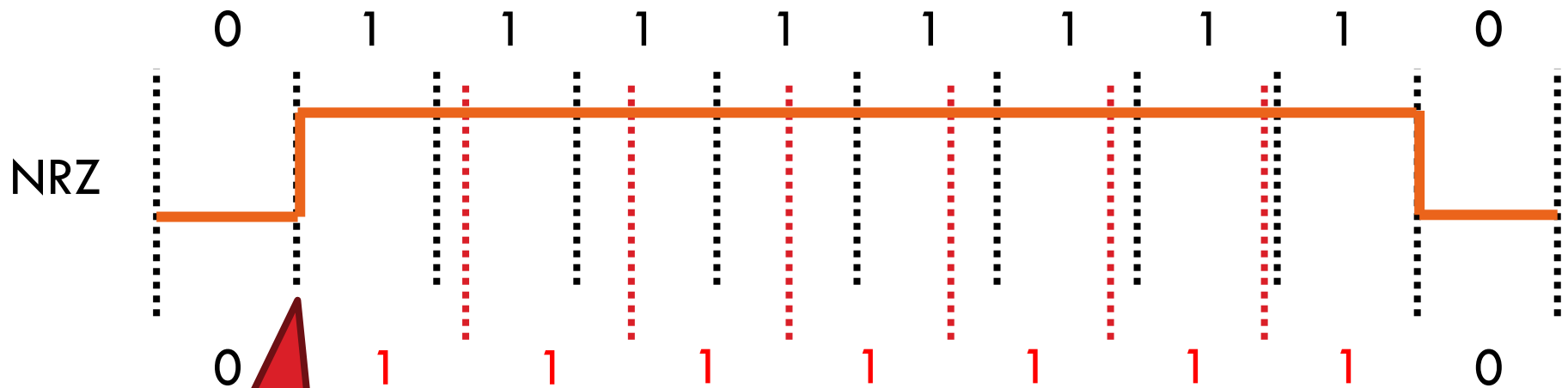
- Probléma: 0-ákból vagy 1-esekből álló hosszú sorozatok a szinkronizáció megszűnéséhez vezetnek
 - ▣ Hogyan különböztessünk meg sok nullát attól az állapottól, amikor nincs jel?
 - ▣ Hogyan hozzuk szinkronba az órákat egy hosszú egyeseket tartalmazó sorozat után?

Szinkronizáció megszűnése

(„deszinkronizáció”)

32

- ❑ Probléma: mikén állítsuk vissza az órát hosszú egyes vagy nullás sorozat után:



Az átmenetek
jelzik az óra
ütemét

A fogadó kihagy egy egyes
bitet az órák elcsúszása
miatt!!!

Szinkronizációs megoldás

33

□ Felügyelet szükséges a szinkron működéshez

1. Explicit órajel

- párhuzamos átviteli csatornák használata,
- szinkronizált adatok,
- rövid átvitel esetén alkalmas.

2. Kritikus időpontok

- szinkronizáljunk például egy szimbólum vagy blokk kezdetén,
- a kritikus időpontokon kívül szabadon futnak az órák,
- feltesszük, hogy az órák rövid ideig szinkronban futnak

3. Szimbólum kódok

- *önütemező jel* – külön órajel szinkronizáció nélkül dekódolható jel,
- a szignál tartalmazza a szinkronizáláshoz szükséges információt.

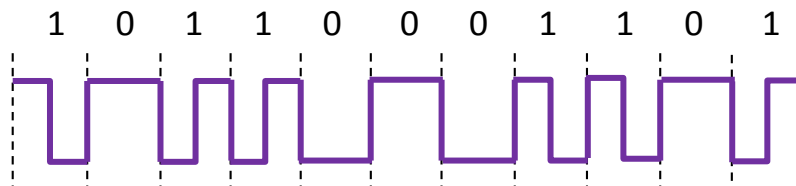
Digitális kódok 1 / 3

34

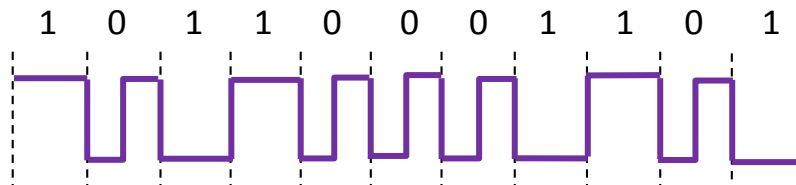
- A digitális kódok 3 lényeges momentumban térnek el:
 - i. Mi történik egy szignál intervallum elején?
 - ii. Mi történik egy szignál intervallum közepén?
 - iii. Mi történik egy szignál intervallum végén?

Néhány konkrét digitális kód

- *Biphase-Mark* (váltás, 1-es bit esetén váltás, semmi)



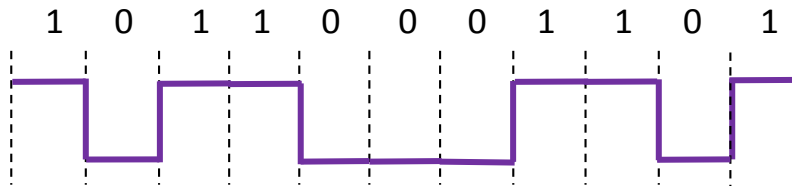
- *Biphase-Space* (váltás, 0-ás bit esetén váltás, semmi)



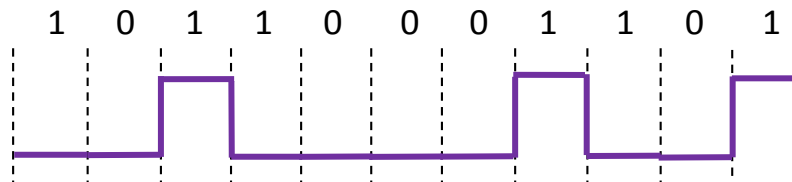
Digitális kódok 2/3

35

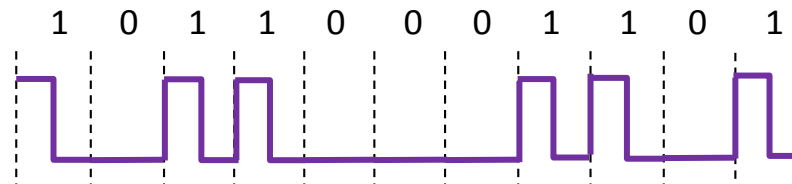
- NRZ-L (1-es bit magas jelszint/ 0-s bit alacsony jelszint, semmi, semmi)



- NRZ-M (1-es bit jelszint váltás/ 0-ás bit esetén nincs váltás, semmi, semmi)



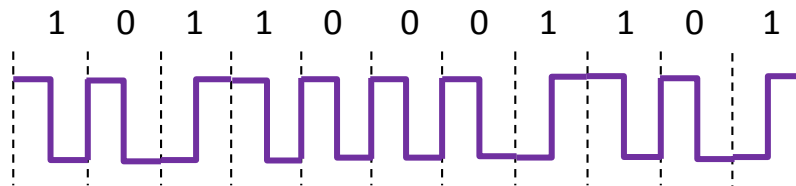
- RZ (1-es bit magas jelszint/ 0-s bit alacsony jelszint, 1-es bit esetén váltás, semmi)



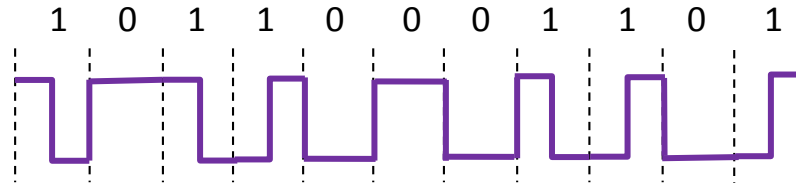
Digitális kódok 3/3

36

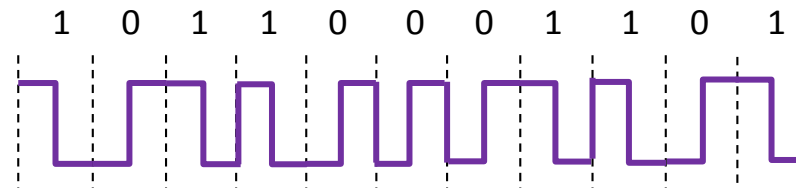
- *Differential Manchester* (0-s bit esetén váltás, váltás, semmi)



- *Delay-Modulation* (semmi, 1-es bit esetén váltás, 0-s bit következik váltás)



- *Manchester* (semmi, 1-es bit magasról alacsonyra/ 0-s alacsonyról magasra, semmi)

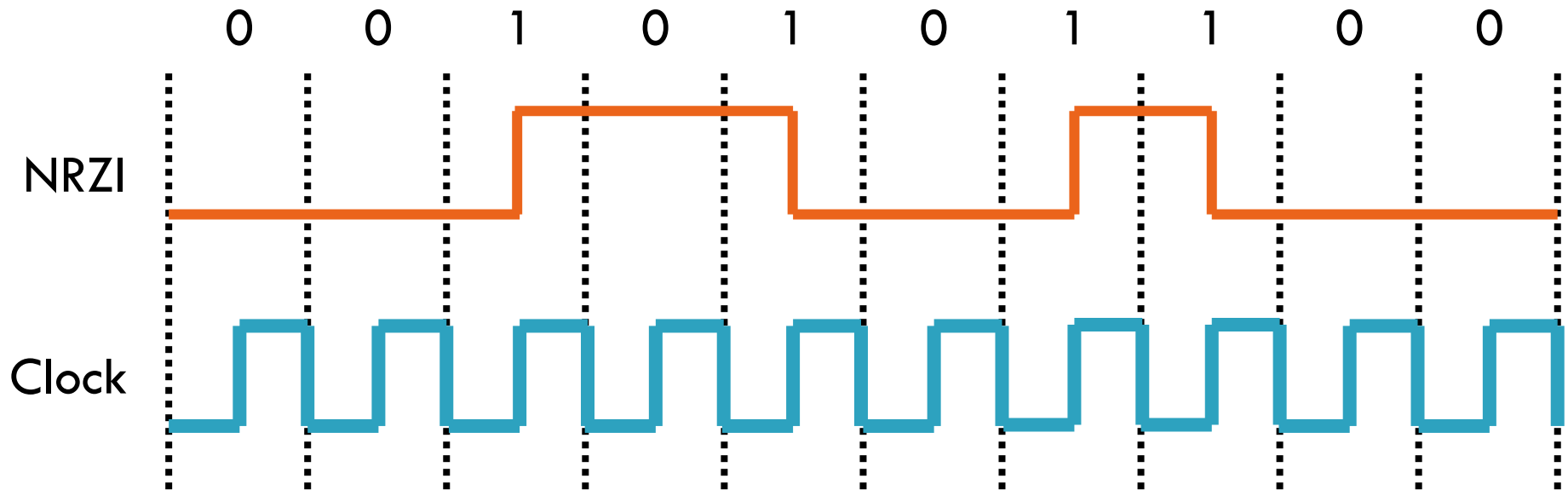


Ethernet példa:
10BASE-TX
100BASE-TX

Non-Return to Zero Inverted (NRZI)

38

□ 1 → átmenet, 0 → ugyanaz marad



□ A csupa egyes sorozat problémáját megoldja ugyan, de a csupa nulla sorozatot ez sem kezeli...

4-bit/5-bit kódolás NRZI előtt (100 Mbps Ethernet - 100BASE-TX)

39

- Megfigyelés:
 - ▣ NRZI jól működik, amíg nincs csupa 0-ákból álló sorozat
- Ötlet - Kódoljunk minden 4 hosszú bitsorozatot 5-bitbe:
 - ▣ Nem lehet egynél több nulla a sorozat elején, és nem lehet kettőnél több a végén

| 4-bit | 5-bit |
|-------|-------|
| 0000 | 11110 |
| 0001 | 01001 |
| 0010 | 10100 |
| 0011 | 10101 |
| 0100 | 01010 |
| 0101 | 01011 |
| 0110 | 01110 |
| 0111 | 01111 |

| 4-bit | 5-bit |
|-------|-------|
| 1000 | 10010 |
| 1001 | 10011 |
| 1010 | 10110 |
| 1011 | 10111 |
| 1100 | 11010 |
| 1101 | 11011 |
| 1110 | 11100 |
| 1111 | 11101 |

- Hátrányok: 80%-ot veszítünk a hatékonyságból

4-bit/5-bit kódolás NRZI előtt (100 Mbps Ethernet - 100BASE-TX)

40

❑ Megfigyelés:

❑ NRZI

8-bit/10-bit kódolás használata Gigabit Ethernet

❑ Ötlet - Kódoljunk minden 4 hosszú bít-sorozatot 5-bitbe:

- ❑ Nem lehet egynél több nulla a sorozat elején, és nem lehet kettőnél több a végén

| 4-bit | 5-bit |
|-------|-------|
| 0000 | 11110 |
| 0001 | 01001 |
| 0010 | 10100 |
| 0011 | 10101 |
| 0100 | 01010 |
| 0101 | 01011 |
| 0110 | 01110 |
| 0111 | 01111 |

| 4-bit | 5-bit |
|-------|-------|
| 1000 | 10010 |
| 1001 | 10011 |
| 1010 | 10110 |
| 1011 | 10111 |
| 1100 | 11010 |
| 1101 | 11011 |
| 1110 | 11100 |
| 1111 | 11101 |

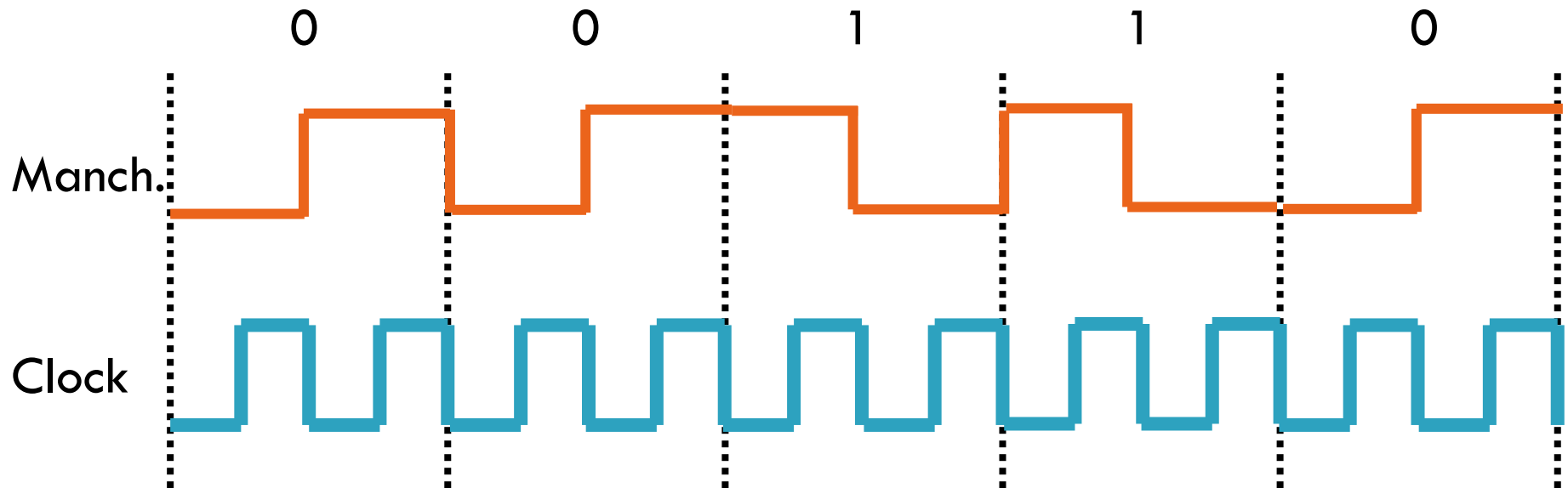
❑ Hátrányok: 80%-ot veszítünk a hatékonyságból

Manchester (10 Mbps Ethernet

10BASE-TX)

41

- 1 → átmenet magasról alacsonyra, 0 → alacsonyról magasra



- Megoldás az órák elcsúszásának problémájára (minden bit átmenettel kódolt)
- Negatívum, hogy az átvitel felét használja ki (két óraidő ciklus per bit)

Jelátvitel

Alapsáv és széles-sáv

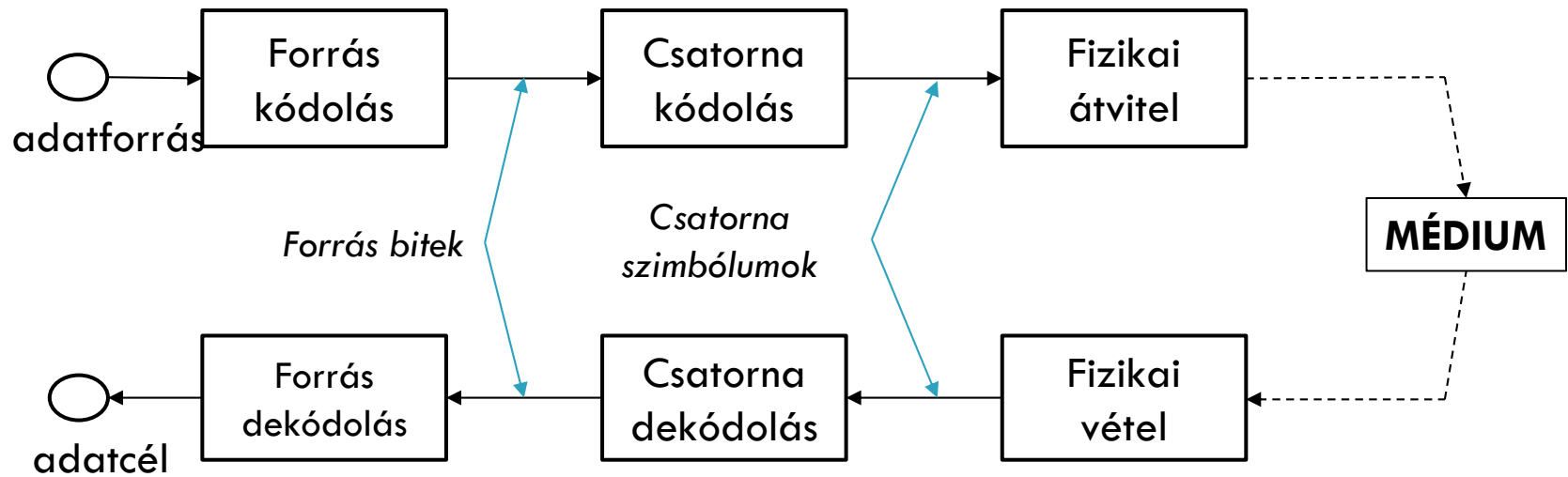
43

- Alapsáv avagy angolul *baseband*
 - ▣ a digitális jel direkt árammá vagy feszültséggé alakul;
 - ▣ a jel minden frekvencián átvitelre kerül;
 - ▣ átviteli korlátok.

- Szélessáv avagy angolul *broadband*
 - ▣ Egy széles frekvencia tartományban történik az átvitel;
 - ▣ a jel modulálására az alábbi lehetőségeket használhatjuk:
 - adatok vivőhullámra „ültetése” (*amplitúdó moduláció*);
 - vivőhullám megváltoztatása (*frekvencia vagy fázis moduláció*);
 - különböző vivőhullámok felhasználása egyidejűleg

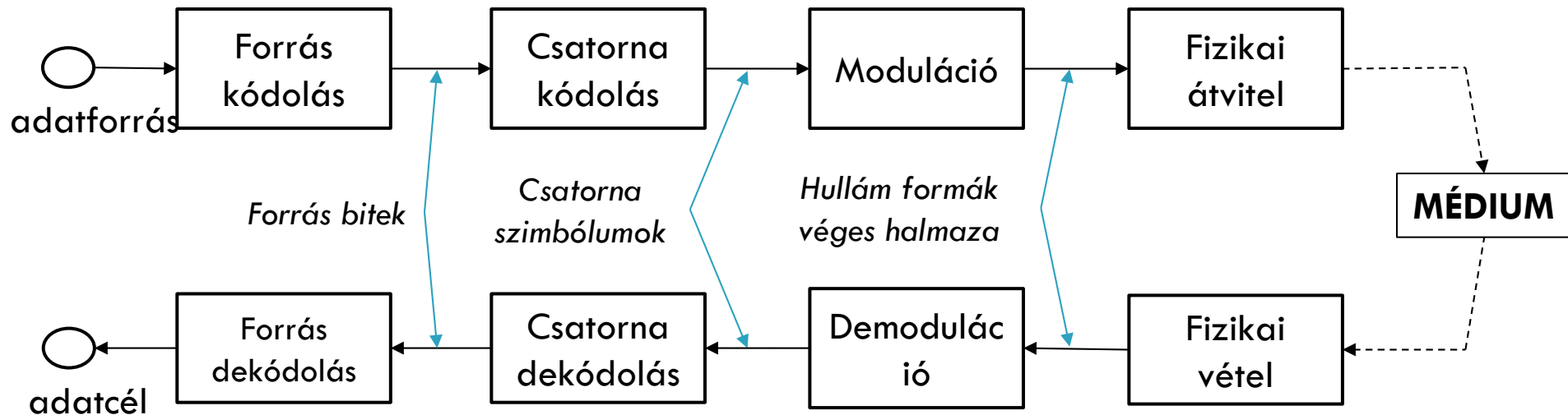
Digitális alapsávú átvitel struktúrája

44



Digitális szélessávú átvitel struktúrája

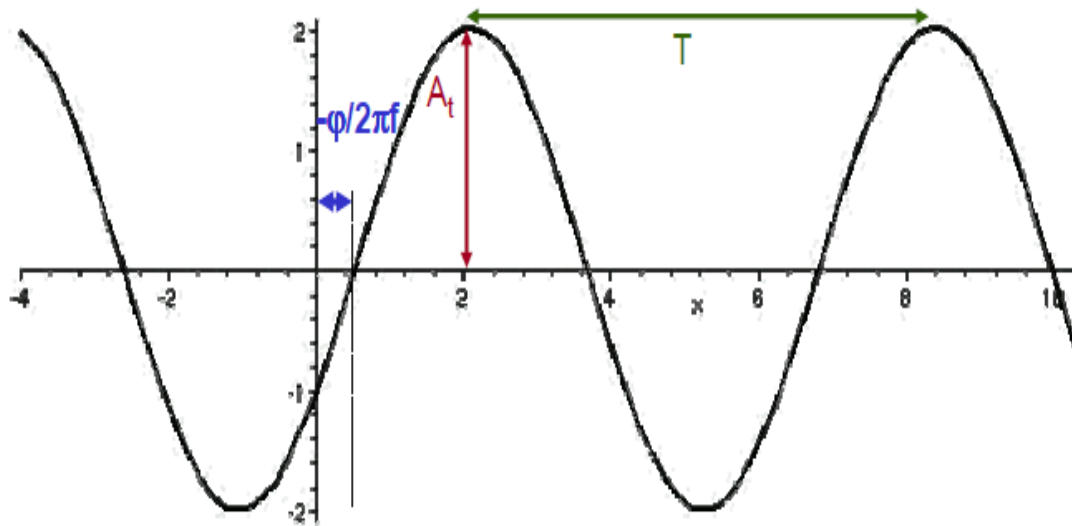
45



Amplitúdó ábrázolás

46

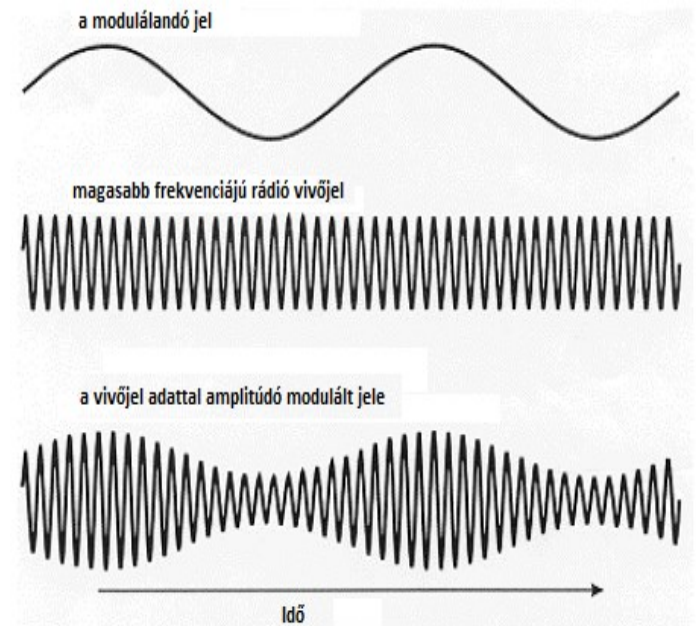
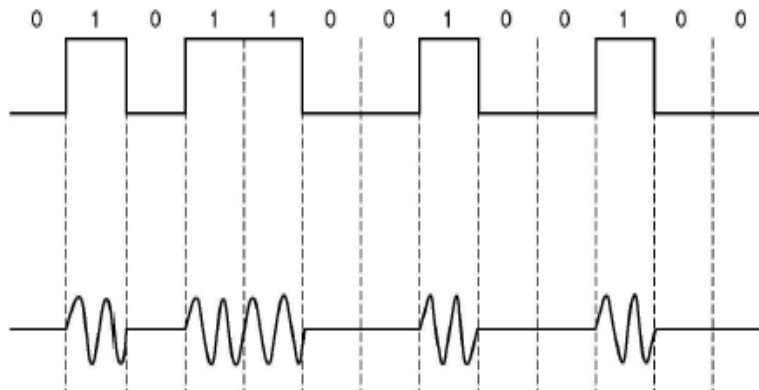
- Egy szinusz rezgés amplitúdó ábrázolása T periódus idejű függvényre $s(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi)$, ahol A az amplitúdó, f a frekvencia és φ a fáziseltolás.



Amplitúdó moduláció

47

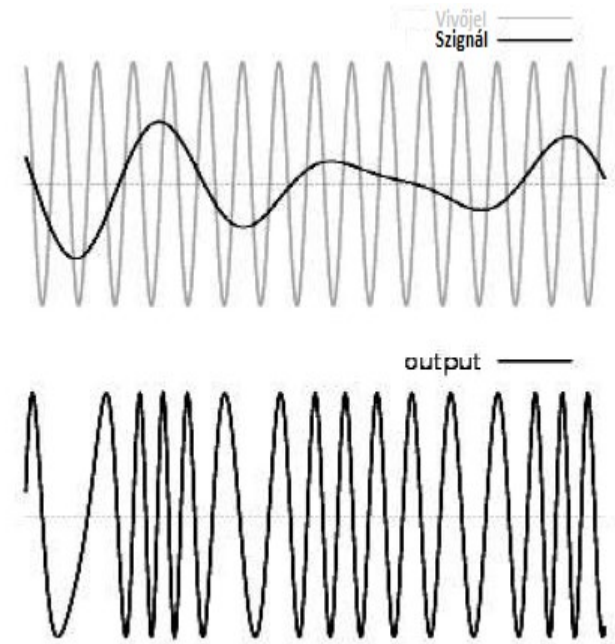
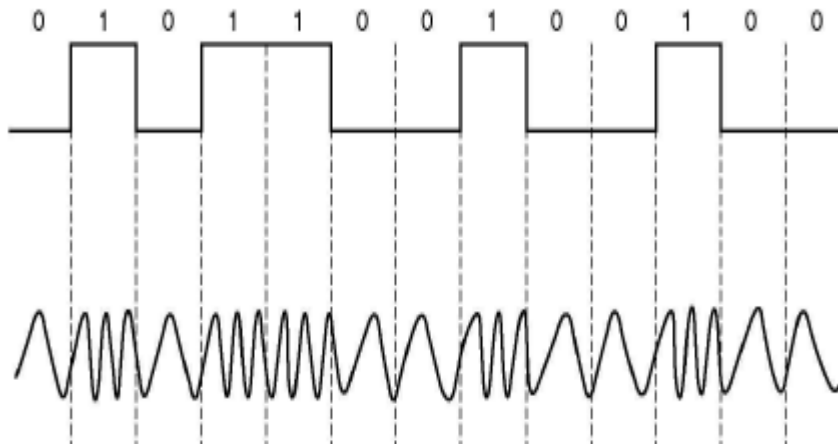
- Az $s(t)$ szignált a szinusz görbe amplitúdójaként kódoljuk, azaz:
$$f_A(t) = s(t) * \sin(2\pi f t + \varphi)$$
- ▣ *analóg szignál*: amplitúdó moduláció
- ▣ *Digitális szignál*: amplitúdó keying (szignál erőssége egy diszkrét halmaz értékeinek megfelelően változik)



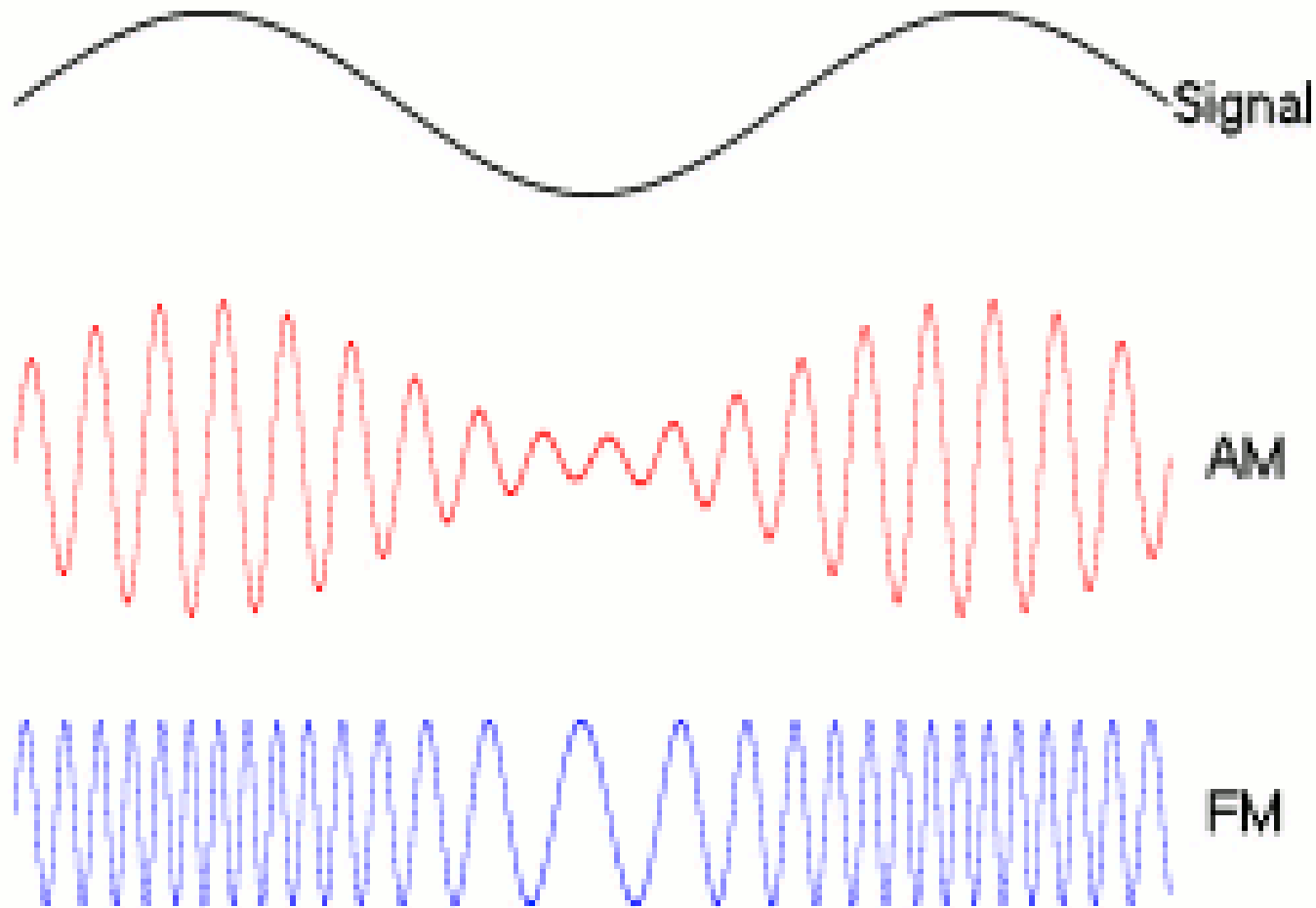
Frekvencia moduláció

48

- Az $s(t)$ szignált a szinusz görbe frekvenciájában kódoljuk, azaz:
$$f_F(t) = a * \sin(2\pi s(t)t + \varphi)$$
- ▣ *analóg szignál*: frekvencia moduláció
- ▣ *Digitális szignál*: frekvencia-eltolás keying (például egy diszkrét halmaz szimbólumaihoz különböző



Illusztráció - AM & FM analóg jel esetén



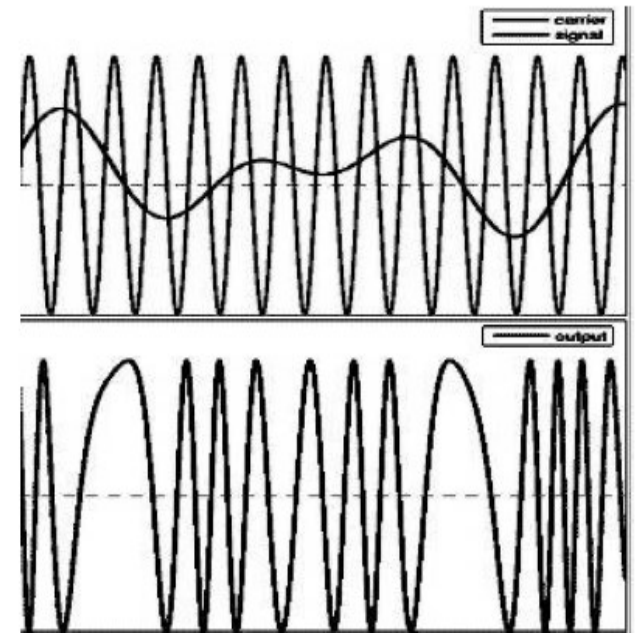
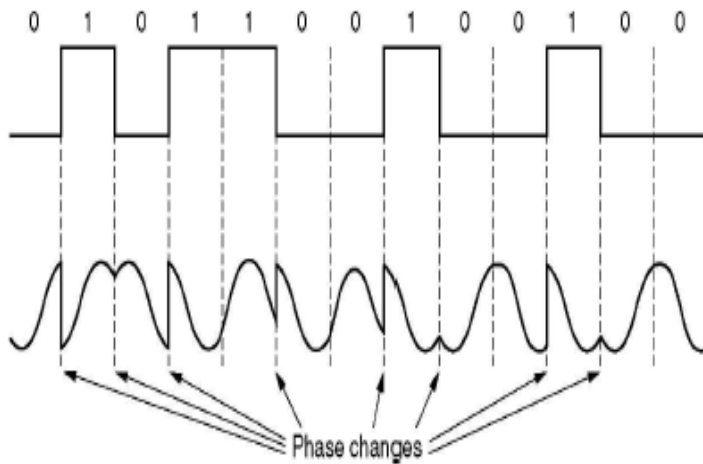
Fázis moduláció

50

- Az $s(t)$ szignált a szinusz görbe fázisában kódoljuk, azaz:

$$f_p(t) = a * \sin(2\pi f t + s(t))$$

- ▣ *analóg szignál*: fázis moduláció (nem igazán használják)
- ▣ *Digitális szignál*: fázis-eltolás keying (például egy diszkrét halmaz szimbólumaihoz különböző fázisok

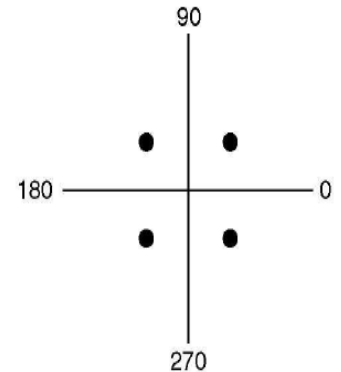


Több szimbólum használata

51

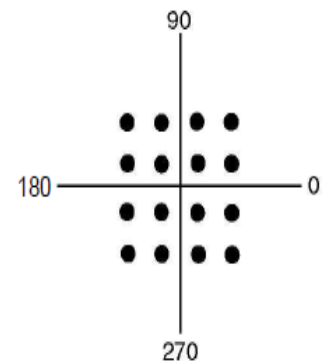
PSK különböző szimbólumokkal

- A fázis eltolások könnyen felismerhetők a fogadó által
- Diszkrét halmaz kódolja a szimbólumokat
 - ▣ Például 4 szimbólum esetén: $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$
 - ▣ Ezzel kétszeres adatrátát kapunk a szimbólum rátához képest
 - ▣ Ezt nevezzük **Q**uadrature **P**hase **S**hift **K**eying



Amplitúdó- és fázis-moduláció

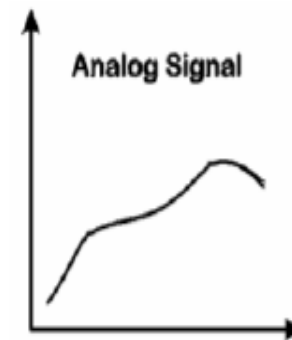
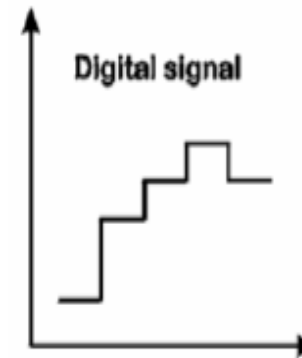
- Kombinálhatóak a módszerek
- Diszkrét halmaz kódolja a szimbólumokat
 - ▣ Például 16 különböző szimbólum (amplitúdó és fázis kombinációja) használata
 - ▣ Ezzel négyszeres adatrátát kapunk a szimbólum rátához képest
 - ▣ Ezt nevezzük **Q**uadrature **A**mplitude **M**odulation-16



Digitális és analóg jelek összehasonlítása

52

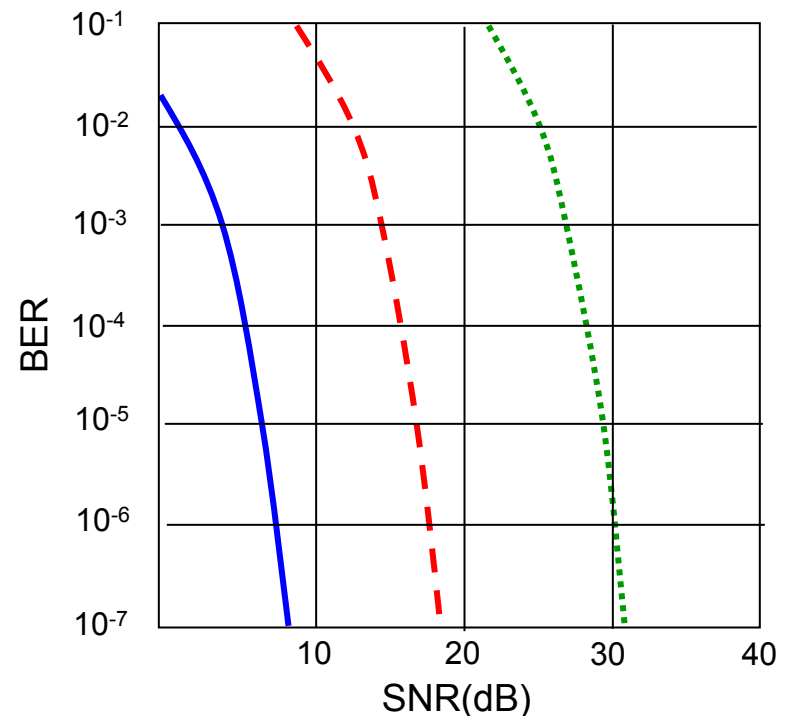
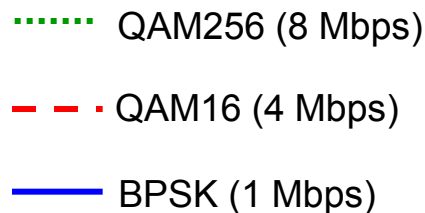
- *Digitális átvitel* – Diszkrét szignálok véges halmazát használja (például feszültség vagy áramerősség értékek).
- *Analóg átvitel* – Szignálok folytonos halmazát használja (például feszültség vagy áramerősség a vezetékben)
- *Digitális előnyei*
 - ▣ Lehetőség van a vételpontosság helyreállítására illetve az eredeti jel helyreállítására
- *Analóg hátránya*
 - ▣ A fellépő hibák önmagukat erősíthetik



Bithiba gyakoriság és a jel-zaj arány

53

- Minél nagyobb a jel-zaj arány avagy **SNR** (*Signal-to-noise ratio*), annál kevesebb hiba lép fel
- A hibásan fogadott bitek részarányát bithiba gyakoriságnak avagy BER-nek (bit error rate) nevezzük
- A BER függ az alábbiaktól
 - ▣ a jel erőségétől,
 - ▣ a zajtól,
 - ▣ az átviteli sebességtől,
 - ▣ a felhasznált módszertől.



Csatorna hozzáférés módszerei

Multiplexálás

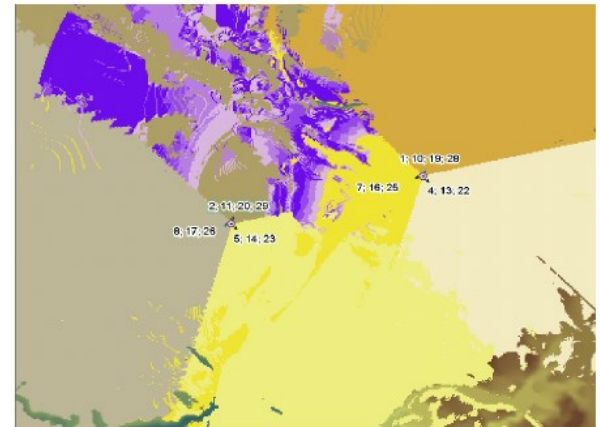
55

- ❑ Lehetővé teszi, hogy több jel egyidőben utazzon egy fizikai közegen
- ❑ Több jel átvitele érdekében a csatornát logikailag elkülönített kisebb csatornákra (alcsatornákra) bontjuk
- ❑ A küldő oldalon szükséges egy speciális eszköz (multiplexer), mely a jeleket a csatorna megfelelő alcsatornáira helyezi

Térbeli multiplexálás

56

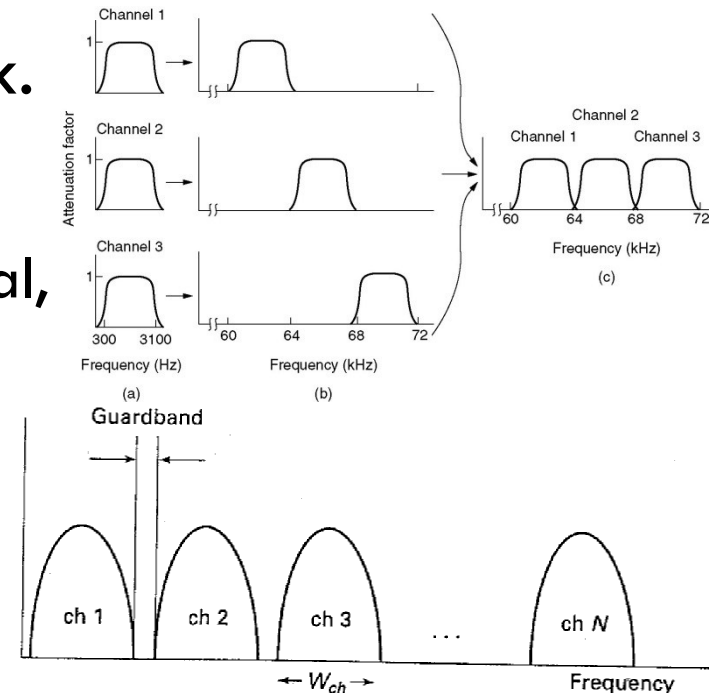
- Ez a legegyszerűbb multiplexálási módszer.
- Angolul **Space-Division Multiplexing**
- Vezetékes kommunikáció esetén minden egyes csatornához külön pont-pont vezeték tartozik.
- Vezeték nélküli kommunikáció esetén minden egyes csatornához külön antenna rendelődik.



Frekvencia multiplexálás

57

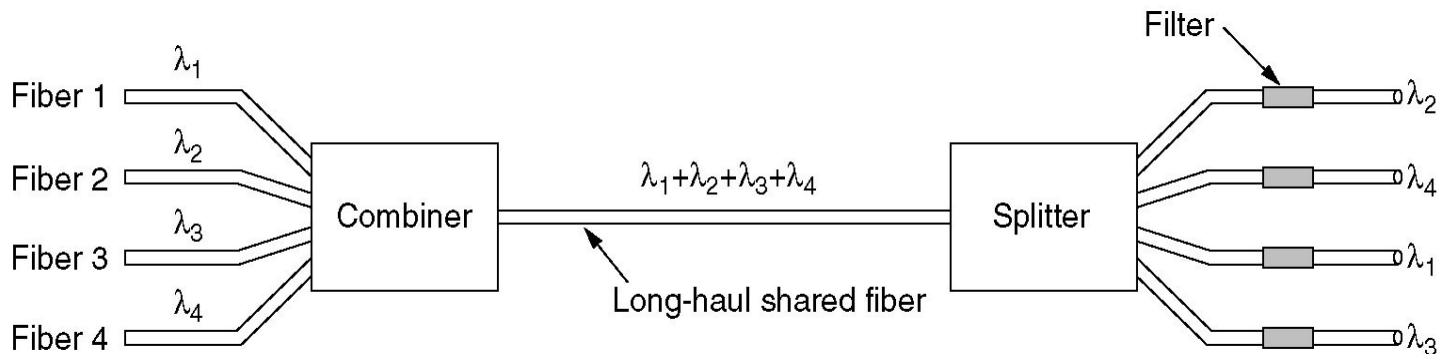
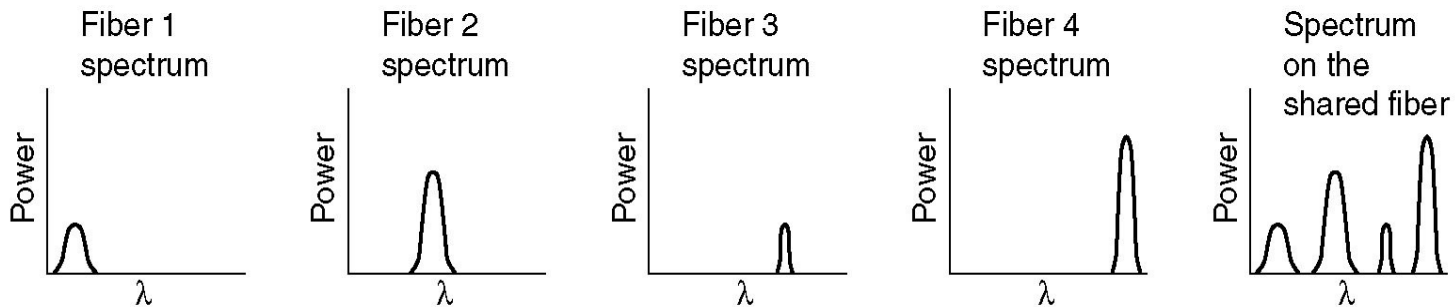
- Olyan módszertan, amelyben egy kommunikációs csatornán több szignál kombinációja adja az átvitelt.
- Minden szignálhoz más frekvencia tartozik.
- Angolul **Frequency-Division Multiplexing**
- Tipikusan analóg vonalon használják.
- Többféle megvalósítása van:
 - ▣ XOR a szignálokon véletlen bitsorozattal,
 - ▣ pseudo véletlen szám alapú választás



Hullámhossz multiplexálás

58

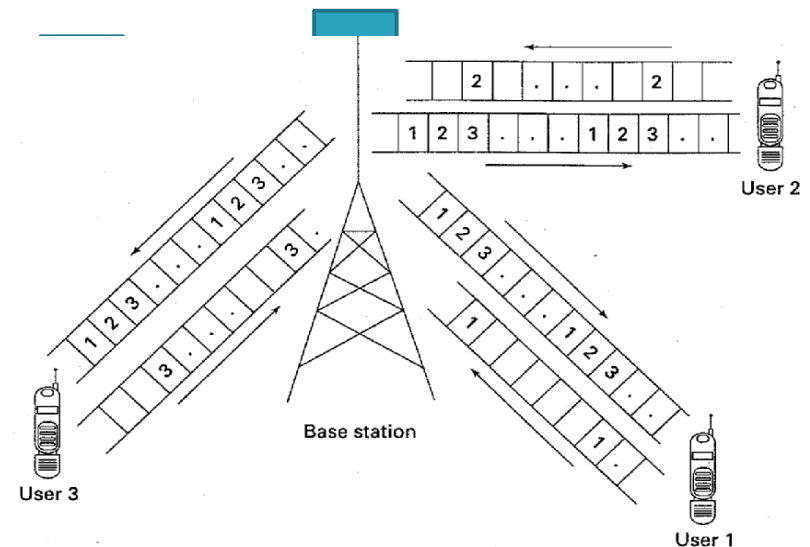
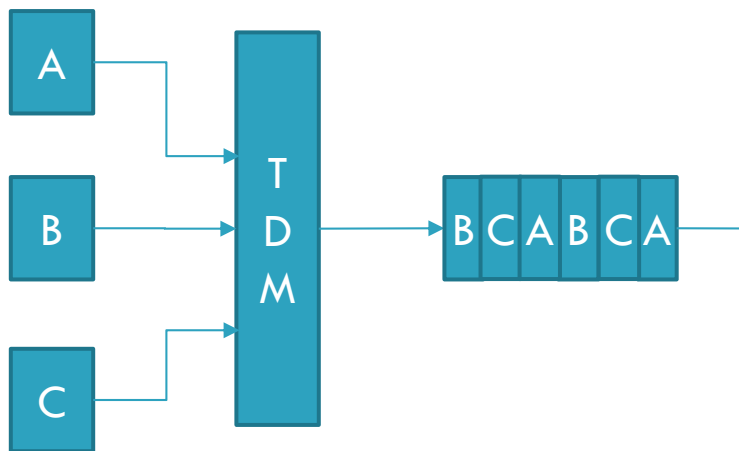
- Optikai kábeleknel alkalmazzák.
- Angolul **Wavelength-Division Multiplexing**



Időbeli multiplexálás

59

- Több párhuzamos adatfolyam átvitelét a jelsorozat rövid időintervallumokra szegmentálásával oldja meg.
- Diszkrét időszeletek használata. Minden állomás saját időszeletet kap.
- Angolul **Time-Division Multiplexing**



Code Division Multiple Access 1 / 3

60

- ❑ a harmadik generációs mobiltelefon hálózatok alapját képezi (*IS-95 szabvány*)
- ❑ minden állomás egyfolytában sugározhat a rendelkezésre álló teljes frekvenciasávon
- ❑ Feltételezi, hogy a többszörös jelek lineárisan összeadódnak.
- ❑ **Kulcsa:** a hasznos jel kiszűrése

ALGORITMUS

- ❑ minden bitidőt m darab rövid intervallumra osztunk, ezek a töredékek (angolul *chip*)
- ❑ minden állomáshoz egy m bites kód tartozik, úgynevezett töredéksorozat (angolul *chip sequence*)
- ❑ Ha 1-es bitet akar továbbítani egy állomás, akkor elküldi a saját töredéksorozatát.
- ❑ Ha 0-es bitet akar továbbítani egy állomás, akkor elküldi a saját töredéksorozatának egyes komplementjét.

Code Division Multiple Access 2/3

61

- m-szeres sávszélesség válik szükségessé, azaz szórt spektrumú kommunikációt valósít meg
- szemléltetésre bipoláris kódolást használunk:
 - ▣ bináris 0 esetén -1; bináris 1 esetén +1
 - ▣ az állomásokhoz rendelt töredék sorozatok **páronként ortogonálisak**

Code Division Multiple Access 3/3

62

- szinkron esetben a *Walsh* mátrix oszlopai vagy sorai egyszerű módon meghatároznak egy kölcsönösen ortogonális töredék sorozat halmazt

$$H(2^1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, H(2^2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\forall k \in \mathbb{N} \wedge k \geq 2: H(2^k) = \begin{bmatrix} H(2^{k-1}) & H(2^{k-1}) \\ H(2^{k-1}) & -H(2^{k-1}) \end{bmatrix}$$

Code Division Multiple Access példa

63

A állomás

Chip kódja legyen $(1, -1)$.

Átvitelre szánt adat legyen

1011

1. Egyedi szignál előállítása az $(1, 0, 1, 1)$ vektorra:
 $((1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, -1))$
2. Szignál modulálása a csatornára.


B állomás

Chip kódja legyen $(1, 1)$.

Átvitelre szánt adat legyen

0011

1. Egyedi szignál előállítása az $(0, 0, 1, 1)$ vektorra:
 $((-1, -1), (-1, -1), (1, 1), (1, 1))$
2. Szignál modulálása a csatornára.


$$((1 + (-1), (-1) + (-1)), ((-1) + (-1), 1 + (-1)), (1 + 1, (-1) + 1), (1 + 1, (-1) + 1)) = (0, -2, -2, 0, 2, 0, 2, 0)$$

Code Division Multiple Access példa

64

$$((1+(-1), (-1)+(-1)), ((-1)+(-1), 1+(-1)), (1+1, (-1)+1), (1+1, (-1)+1)) = ((0, -2), (-2, 0), (2, 0), (2, 0))$$

Vevő 1

Ismeri B chip kódját: $(1, 1)$.

1. Visszakódolás az ismert kóddal:
 $((0, -2) * (1, 1), (-2, 0) * (1, 1), (2, 0) * (1, 1), (2, 0) * (1, 1))$
2. Kapott $(-2, -2, 2, 2)$ eredmény értelmezése:
 $(-, -, +, +)$, azaz 0011 volt az üzenet B-től.

Vevő 2

Ismeri A chip kódját: $(1, -1)$.

1. Visszakódolás az ismert kóddal:
 $((0, -2) * (1, -1), (-2, 0) * (1, -1), (2, 0) * (1, -1), (2, 0) * (1, -1))$
2. Kapott $(2, -2, 2, 2)$ eredmény értelmezése:
 $(+, -, +, +)$, azaz 1011 volt az üzenet A-tól.

Médium többszörös használata

összefoglalás

65

- ❑ Tér-multiplexálás avagy *SDM* (párhuzamos adatátviteli csatornák)
 - ❑ cellurális hálózatok
- ❑ Frekvencia-multiplexálás avagy *FDM*(a frekvencia tartomány felosztása és küldőhöz rendelése)
 - ❑ „**D**irect **S**equen**S** **S**pread **S**pectrum” (XOR a szignálokon véletlen bitsorozattal)
 - ❑ „**F**requency **H**opping **S**pread **S**pectrum” (pszeudo véletlen szám alapú választás)
- ❑ Idő-multiplexálás avagy *TDM* (a médium használat időszeletekre osztása és küldőhöz rendelése)
 - ❑ diszkrét idő szeletek (*slot*)
 - ❑ koordináció vagy merev felosztás kell hozzá
- ❑ Hullámhossz-multiplexálás avagy *WDM* (optikai frekvencia-multiplexálás)
- ❑ Kód multiplexálás avagy *CDM* (mobil kommunikációban használatos)

Köszönöm a figyelmet!