

# Számítógépes Hálózatok

## 3. Előadás: Fizikai réteg

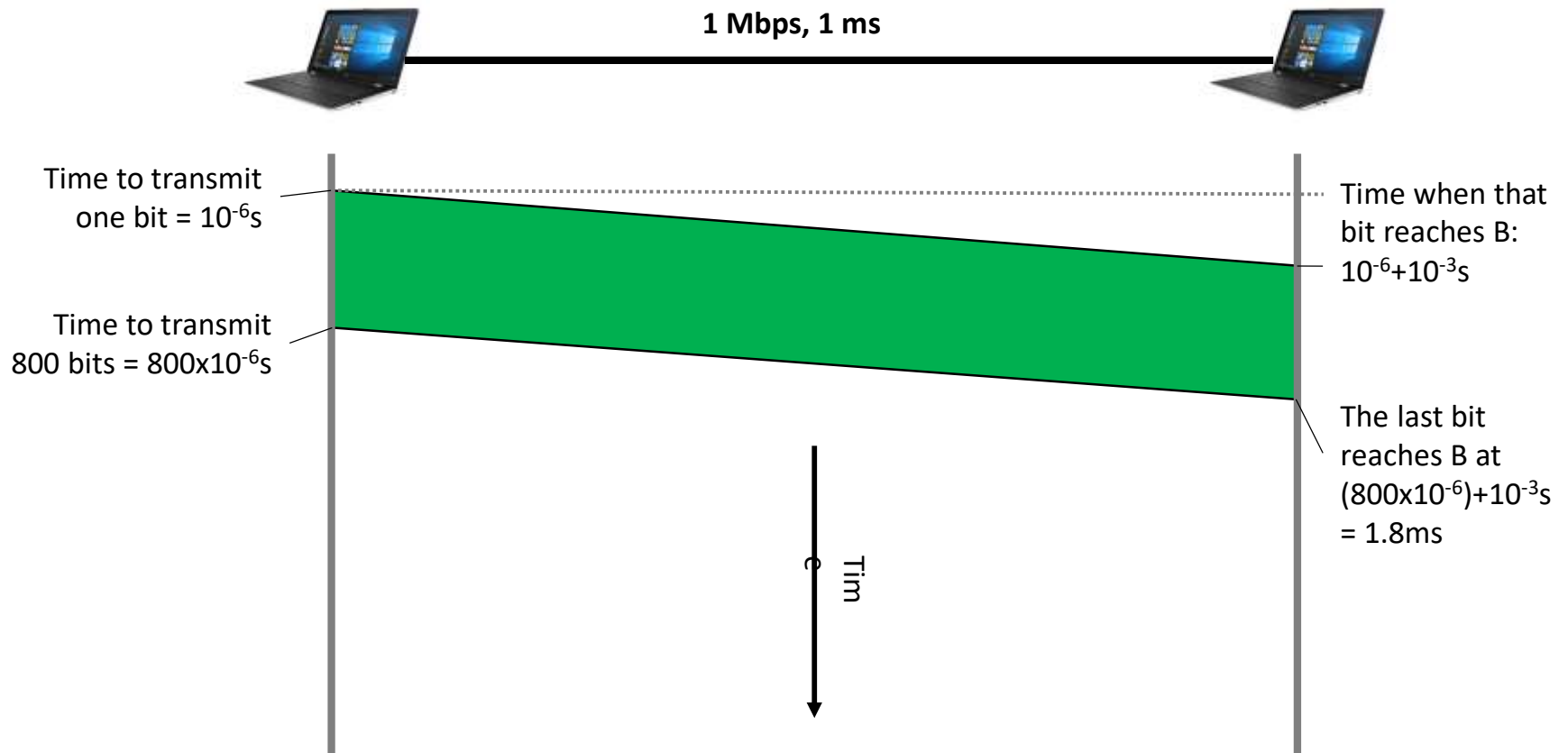
Based on slides from **Zoltán Ács ELTE** and D. Choffnes Northeastern U., Philippa Gill from StonyBrook University , Revised Spring 2016 by S. Laki

The propagation delay is the amount of time required for a bit to travel to the end of the link

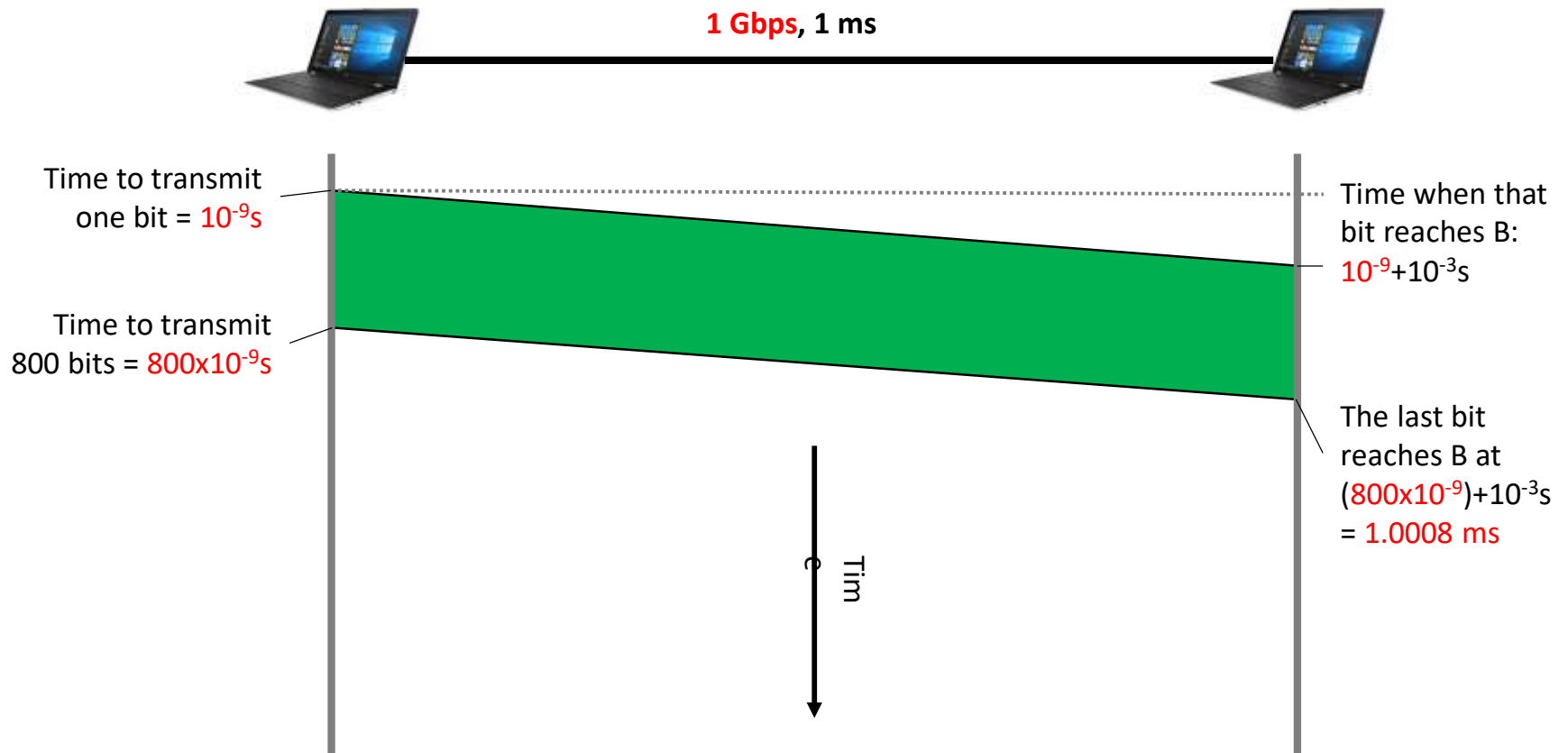
$$\text{Propagation delay} = \frac{\text{link length [m]}}{\text{signal propagation speed [m/sec]}}$$

Example  $= \frac{30000 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/sec}}$  (speed of light in fiber)  $= 150 \mu\text{sec}$

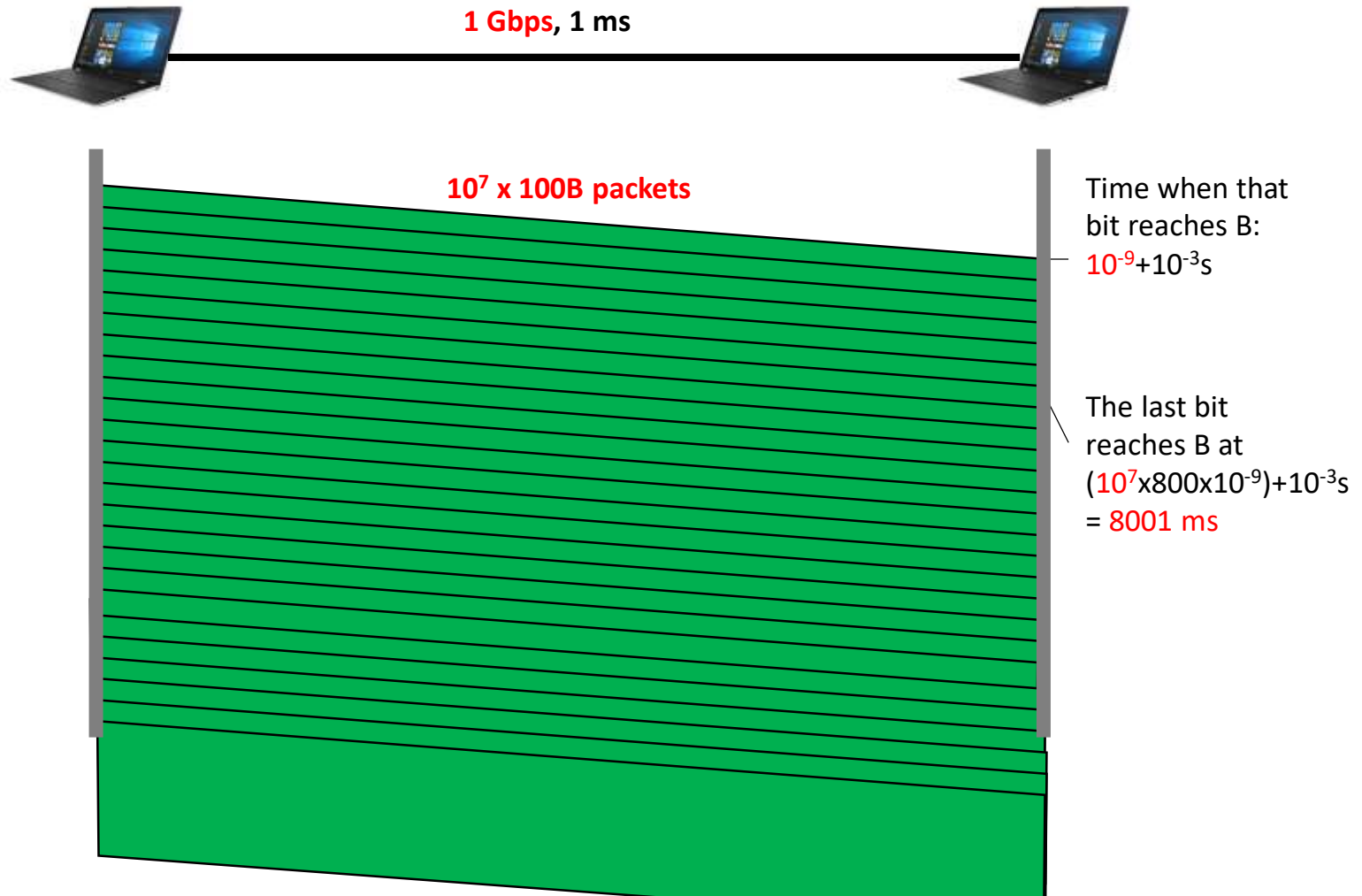
# How long does it take to exchange 100 Bytes packet?



If we have a 1 Gbps link,  
the total time decreases to **1.0008 ms**



If we now exchange a 1GB file  
split in 100B packets



Different transmission characteristics imply different tradeoffs in terms of which delay dominates

$10^7 \times 100\text{B}$ pkts	1Gbps link	<i>transmission delay dominates</i>
--------------------------------	------------	-------------------------------------

1x100B pkt	1Gbps link	<i>propagation delay dominates</i>
------------	------------	------------------------------------

1x100B pkt	1Mbps link	<i>both matter</i>
------------	------------	--------------------

**In the Internet, we cannot know in advance which one matter!**

The queuing delay is the amount of time a packet **waits** (in a buffer) to be transmitted on a link

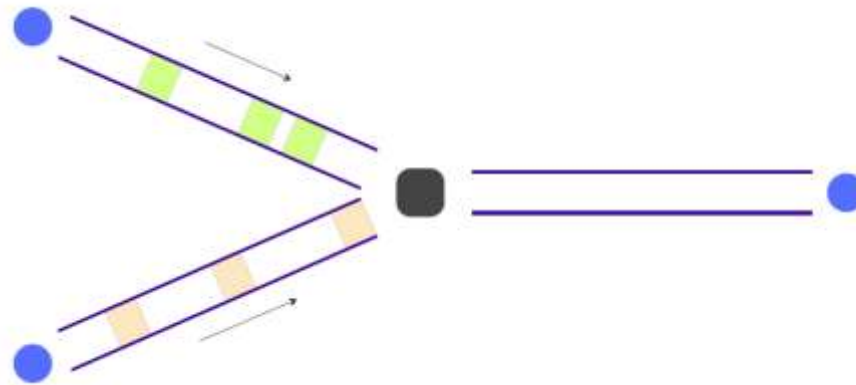
**Queuing delay is the hardest to evaluate**

as it varies from packet to packet

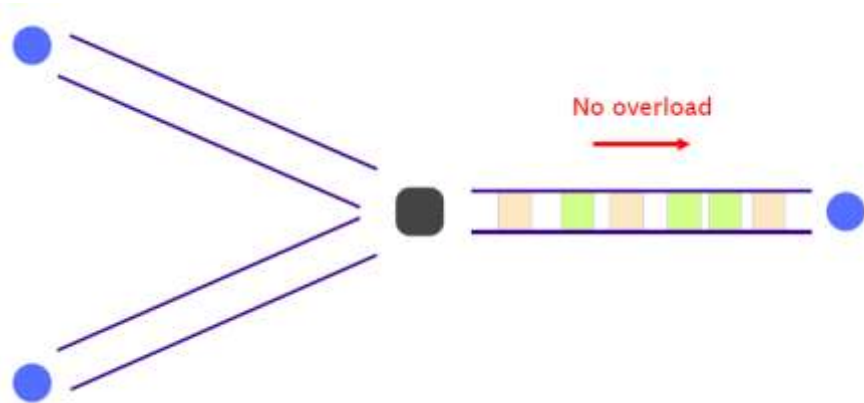
**It is characterized with statistical measures**

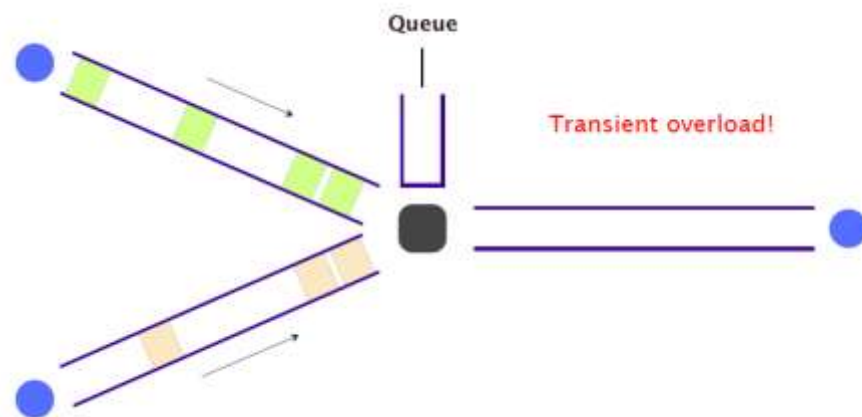
*e.g.*, average delay & variance, probability of exceeding  $x$

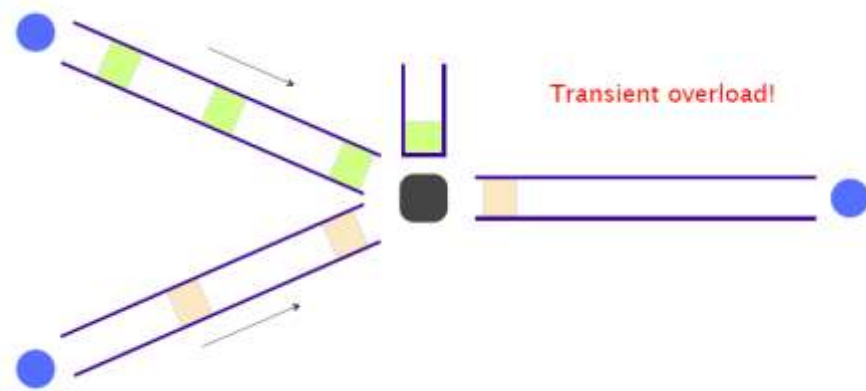
Queuing delay depends on the traffic pattern

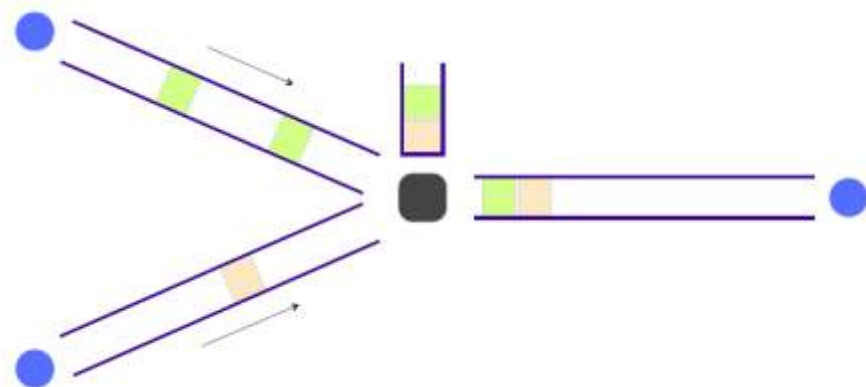


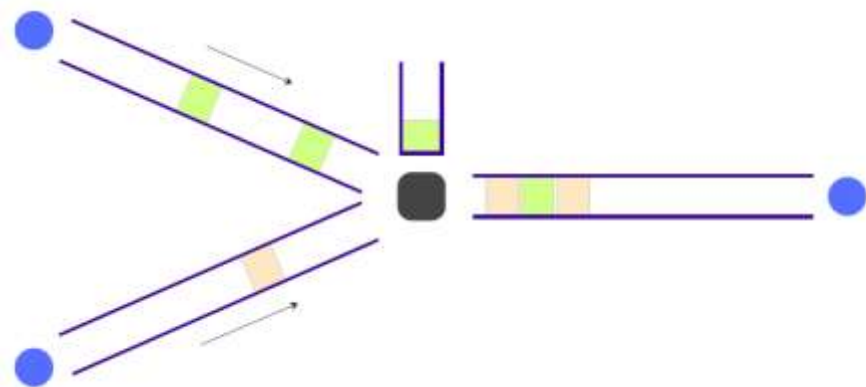


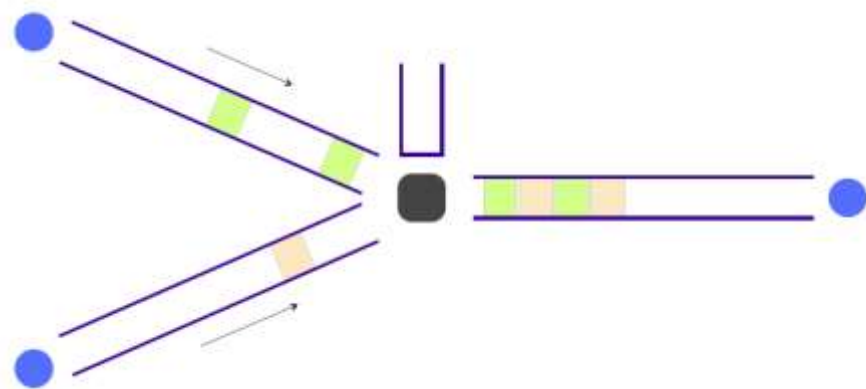




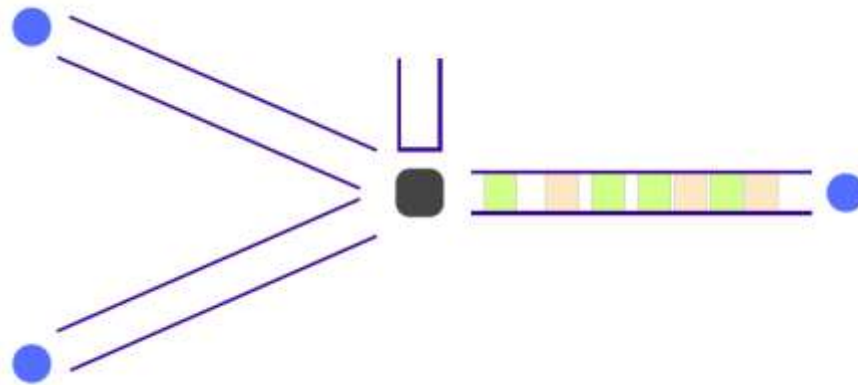








Queues absorb transient bursts,  
but introduce queueing delays



The time a packet has to sit in a buffer before being processed depends on the traffic pattern

Queueing delay depends on:

**arrival rate** at the queue

**transmission rate** of the outgoing link

traffic **burstiness**



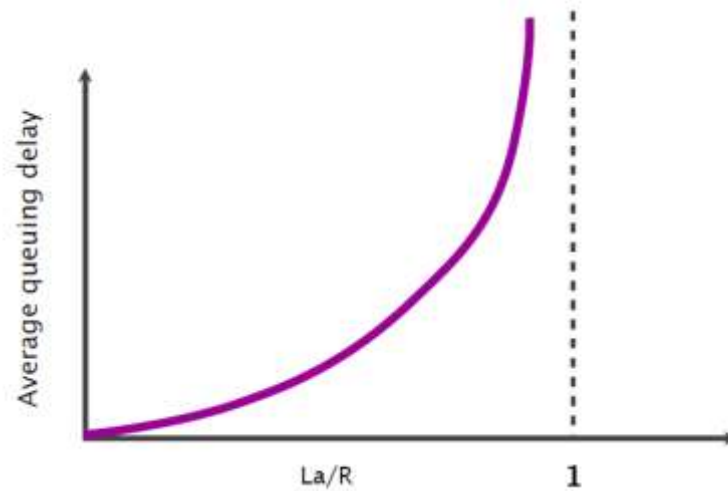
• average packet arrival rate	$a$	[packet/sec]
• transmission rate of outgoing link	$R$	[bit/sec]
• fixed packets length	$L$	[bit]
• average bits arrival rate	$La$	[bit/sec]
• traffic intensity	$La/R$	

When the traffic intensity is  $>1$ , the queue will increase without bound, and so does the queuing delay

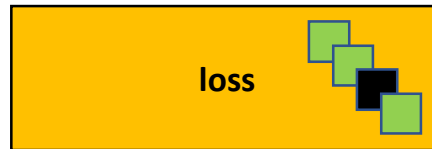
Golden rule

**Design your queuing system,  
so that it operates far from that point**

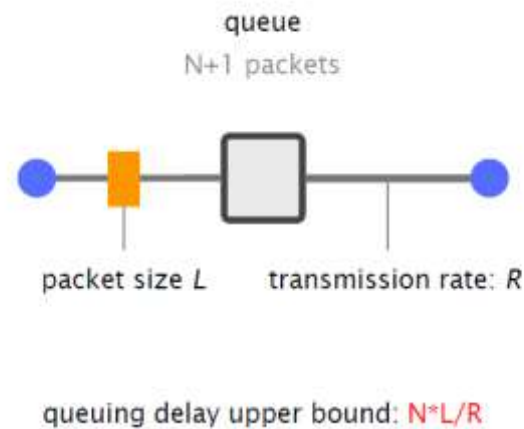
When the traffic intensity is  $\leq 1$ ,  
queueing delay depends on the burst size



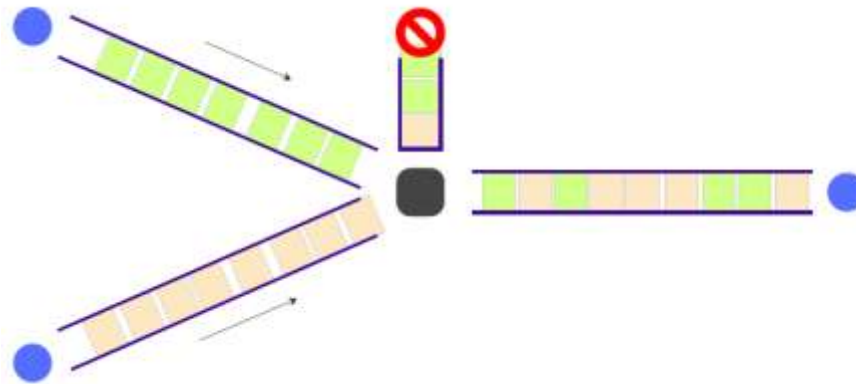
# Loss



In practice, queues are not infinite.  
There is an upper bound on queuing delay.



If the queue is persistently overloaded, it will eventually drop packets (loss)



# Throughput

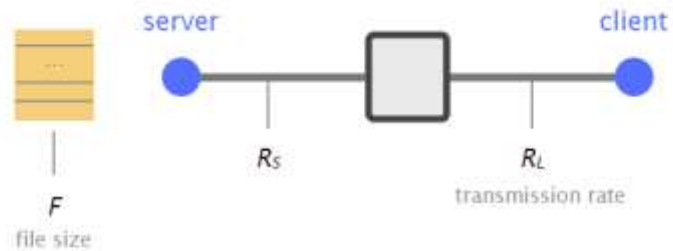


The throughput is the instantaneous rate at which a host receives data

$$\begin{array}{lcl} \text{Average throughput} & = & \frac{\text{data size}}{\text{transfer time}} \\ \text{[#bits/sec]} & & \begin{array}{l} \text{[#bits]} \\ \text{[sec]} \end{array} \end{array}$$



To compute throughput, one has to consider the bottleneck link

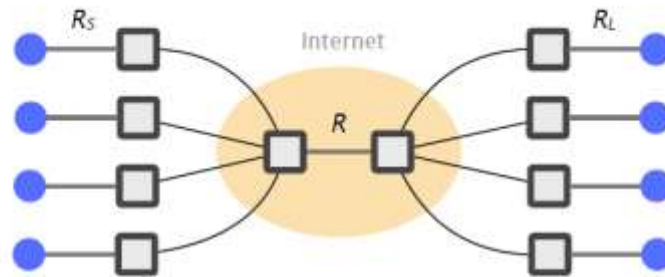


Average throughput

$\min(R_s, R_L)$

= transmission rate  
of the bottleneck link

To compute throughput, one has to consider the bottleneck link... and the intervening traffic



if  $4 * \min(R_S, R_L) > R$

the bottleneck is now in the core,  
providing each download  $R/4$  of throughput

As technology improves, throughput increase &  
delays are getting lower except for propagation  
(speed of light)

Because of propagation delays,  
Content Delivery Networks move content closer to you



\* <http://wwwnui.akamai.com/gnet/globe/index.html>

# Fizikai réteg

29



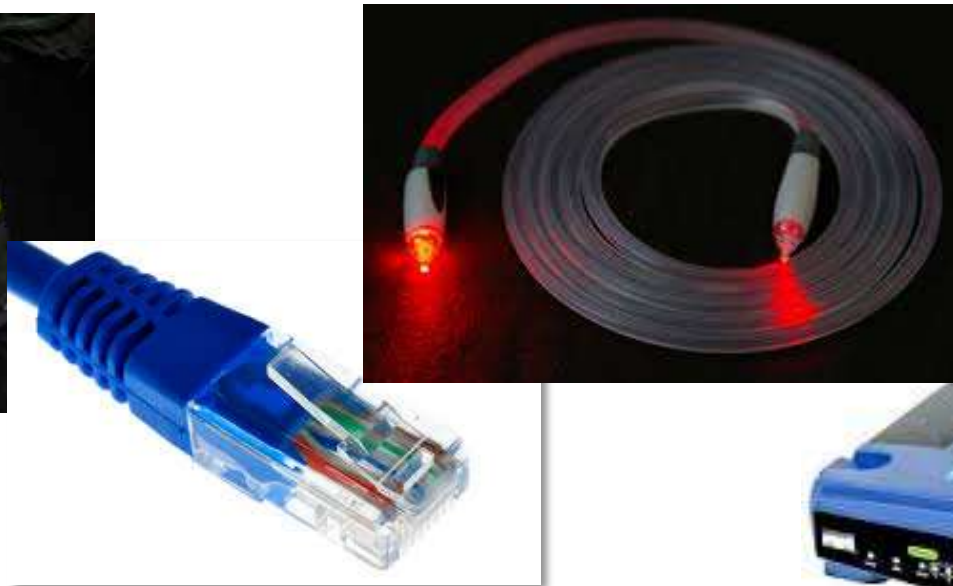
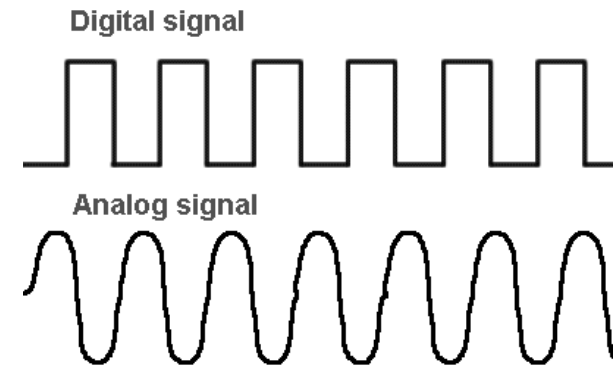
- Szolgáltatás
  - ▣ Információt visz át két fizikailag összekötött eszköz között
  - ▣ definiálja az eszköz és a fizikai átviteli közeg kapcsolatát
- Interfész
  - ▣ Specifikálja egy bit átvitelét
- Protokoll
  - ▣ Egy bit kódolásának sémája
  - ▣ Feszültség szintek
  - ▣ Jelek időzítése
- Példák: koaxiális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

# Alapfogalmak

# Kihívások

31

- ❑ 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

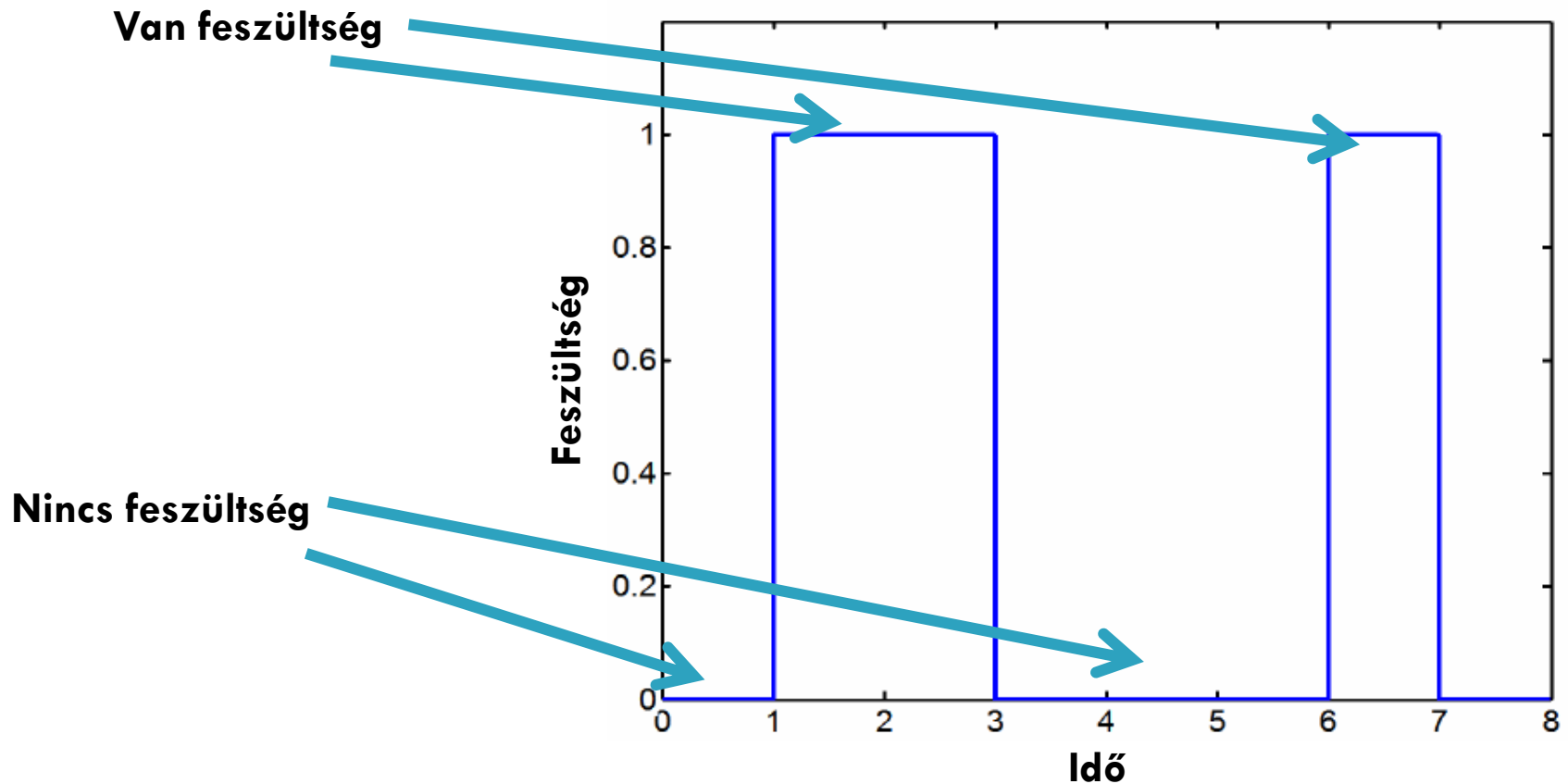
No voltage: Bit 0





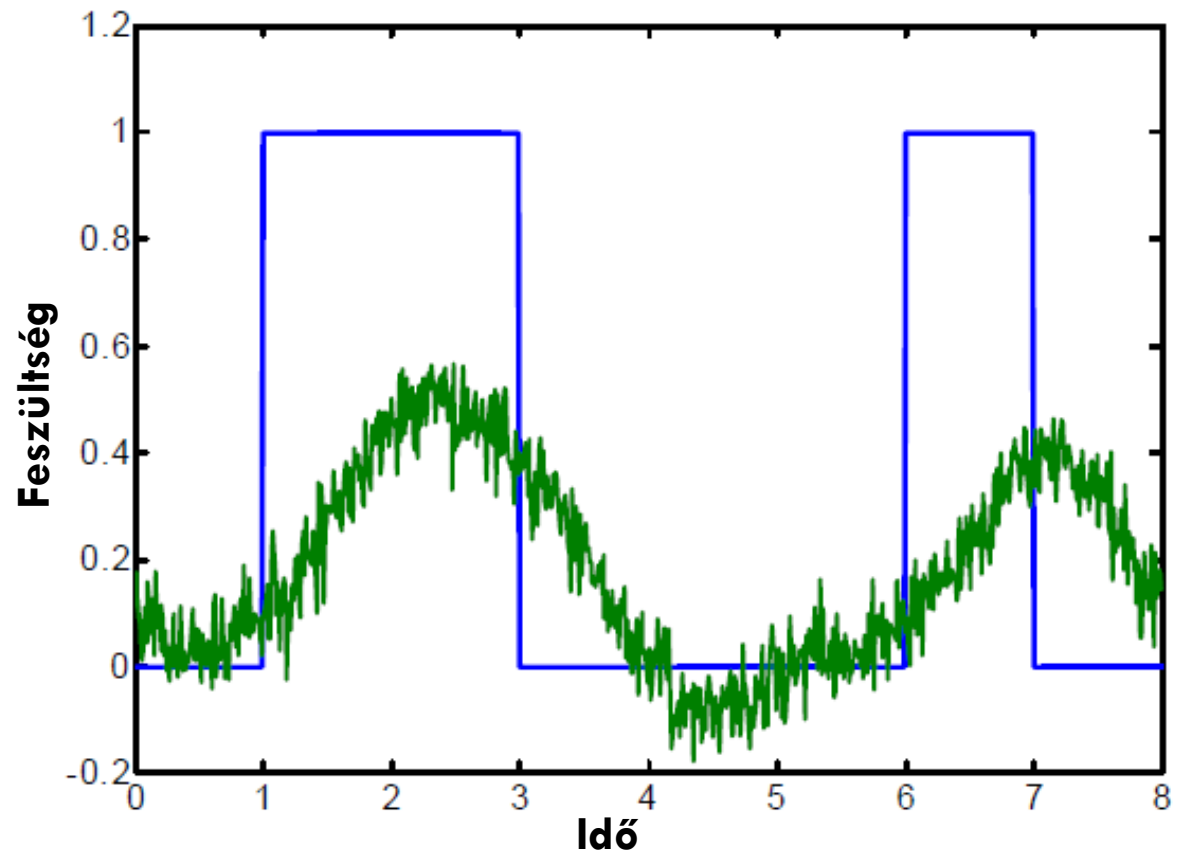
# A „b” karakter átvitele

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



# A „b” karakter átvitele

□ Túl rossz vétel

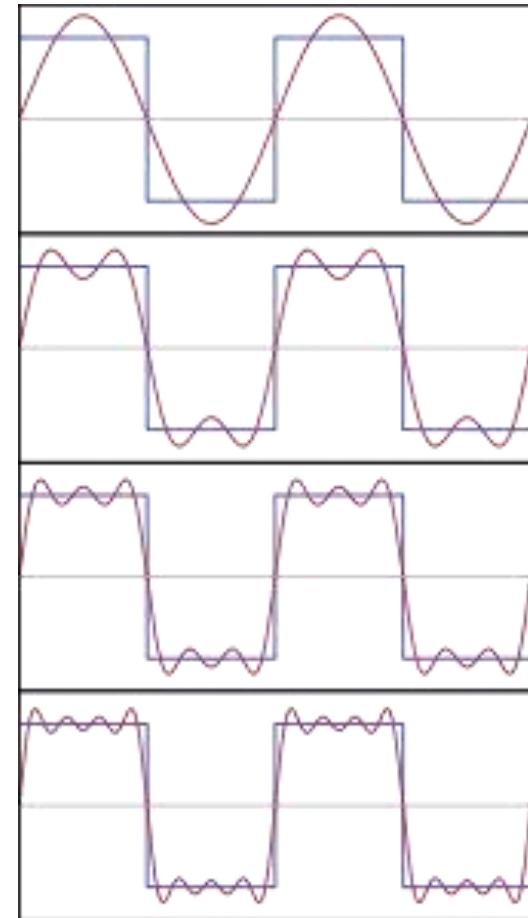


# Elméleti alapok – adatátvitel

35

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

36

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

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

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

# Elméleti alapok – adatátvitel

37

## □ 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:

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

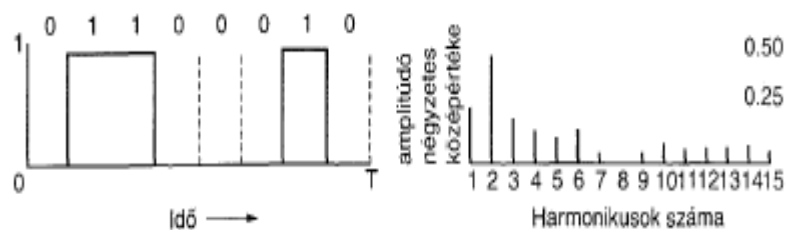
$$b_n = \frac{1}{\pi n} \left[ \sin\left(3\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(\pi \frac{n}{4}\right) + \sin\left(7\pi \frac{n}{4}\right) - \sin\left(6\pi \frac{n}{4}\right) \right]$$

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

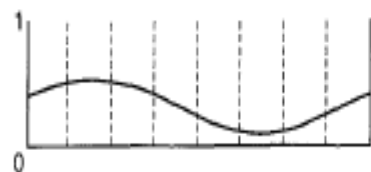
- A harmonikus amplitúdók négyzetösszege arányos a frekvencián továbbított energiával
- (energiavesztés lehetséges)

# Elméleti alapok – adatátvitel

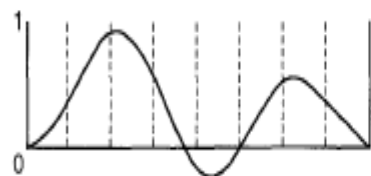
38



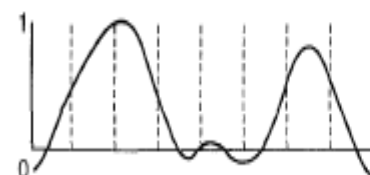
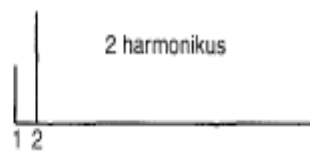
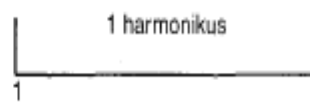
(a)



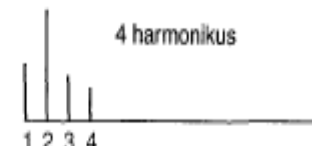
(b)



(c)



(d)



(e)

(Tanenbaum)

(Tanenbaum)

# Fourier sor felhasználása

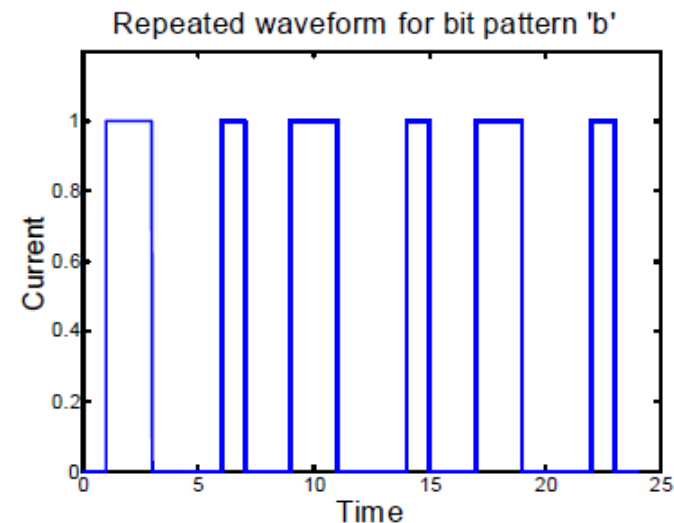
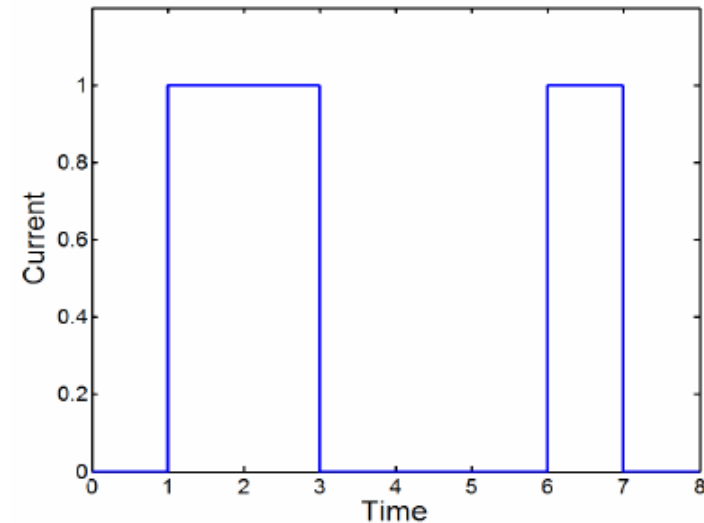
39

□ 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

40

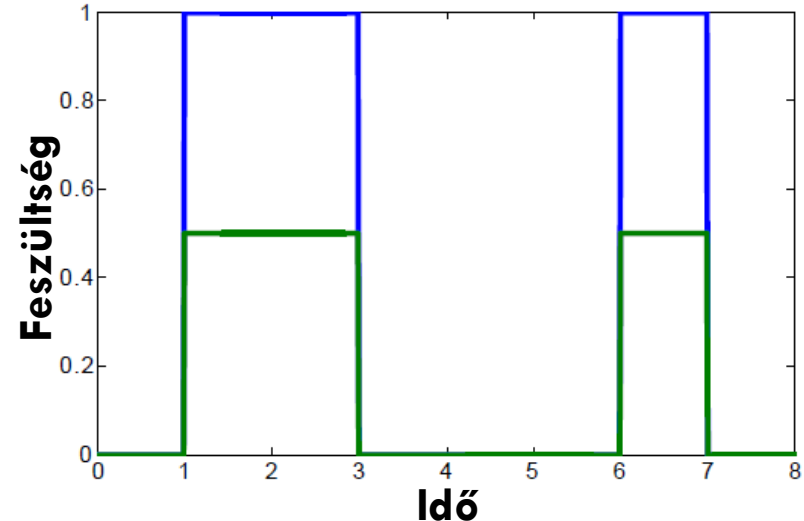
## □ Elnyelődés (attenuation): $\alpha$

- 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

41

## □ Valódi közegben

### ▣ Frekvenciafüggő elnyelődés

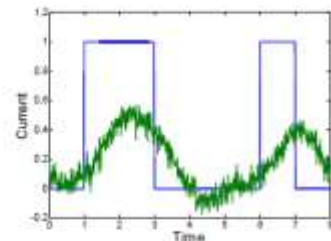
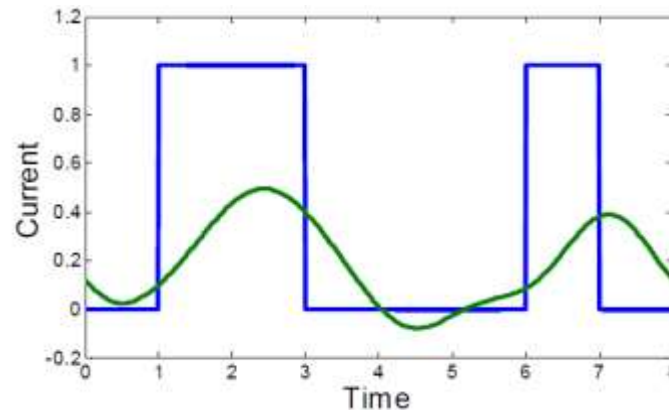
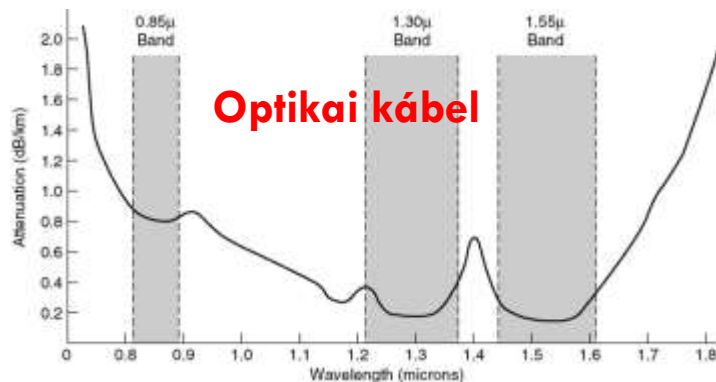
### ▣ Fáziseltolódás

■ Különböző frekvenciáknak különböző a terjedési sebessége

■ Frekvenciafüggő torzítás

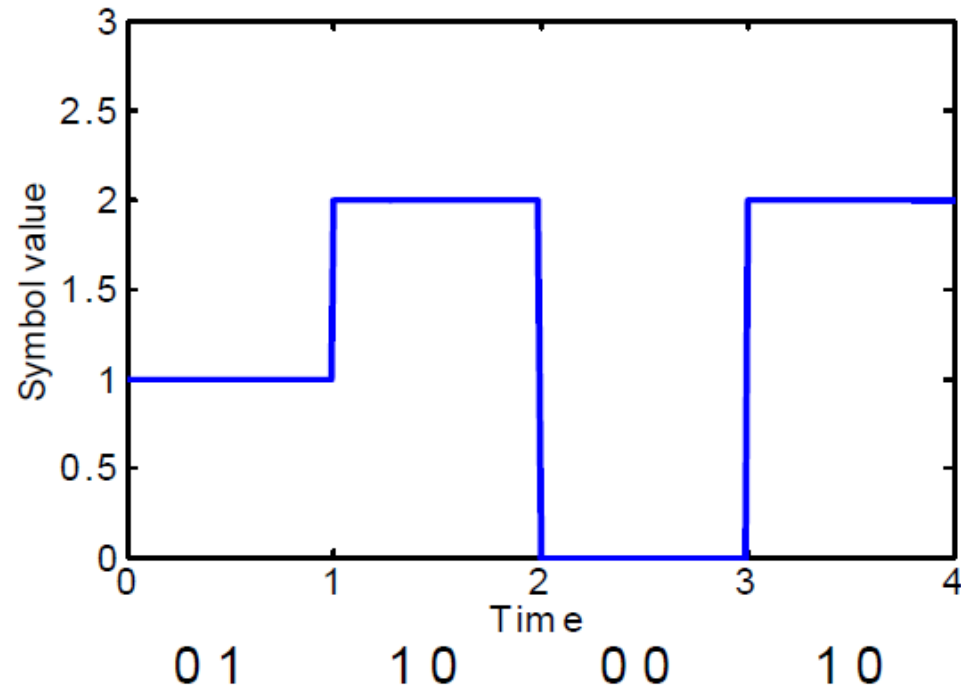
### ▣ Zaj

■ 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



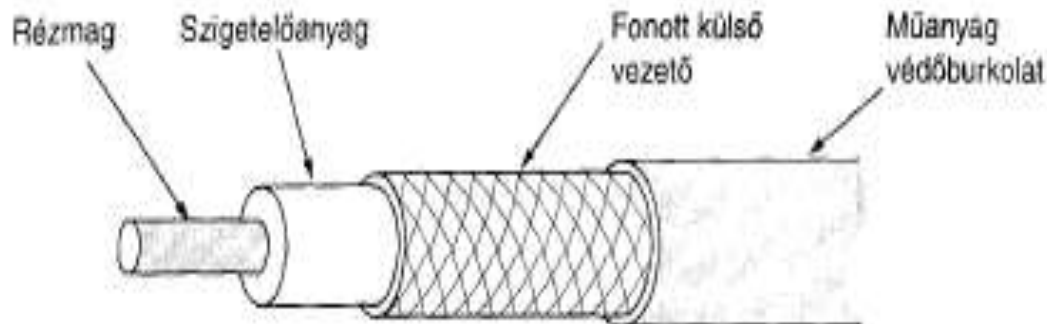
Példa:

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

# Átviteli közegek – vezetékes 1/3

44

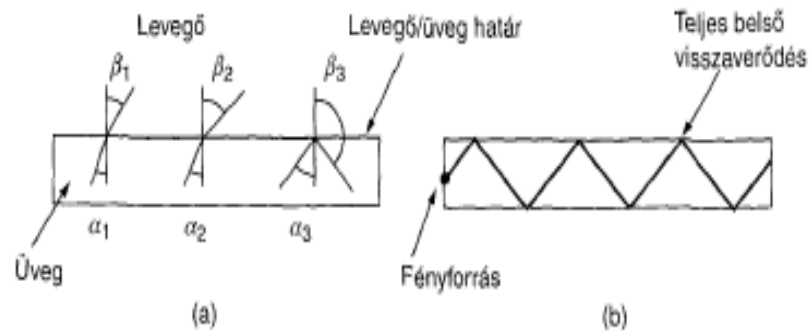
- ❑ **mágneses adathordozók** – sávszélesség jó, késleltetés nagy (nem on-line kapcsolat)
- ❑ **Sodort érpár** (angolul „*twisted pair*”) – főként távbeszélőrendszerekben használatos; dupla rézhuzal; analóg és digitális jelátvitel; UTP és STP
- ❑ **Koaxális kábel** – nagyobb sebesség és távolság érhető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



# Átviteli közegek – vezetékes 2/3

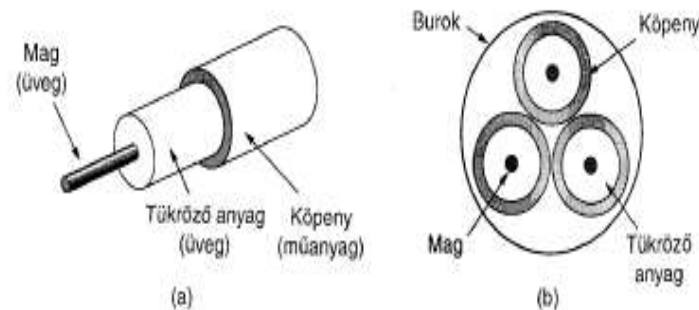
45

- **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

46

- **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

47

- **Frekvencia:** elektromágneses hullám másodpercenkénti rezgésszáma.
  - Jelölés:  $f$
  - Mértékegység: Hertz ( $Hz$ )
  
- **Hullámhossz:** két egymást követő hullámcsúcs (vagy hullámvölgy) közötti távolság
  - Jelölés:  $\lambda$
  
- **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:  $\lambda f = c$

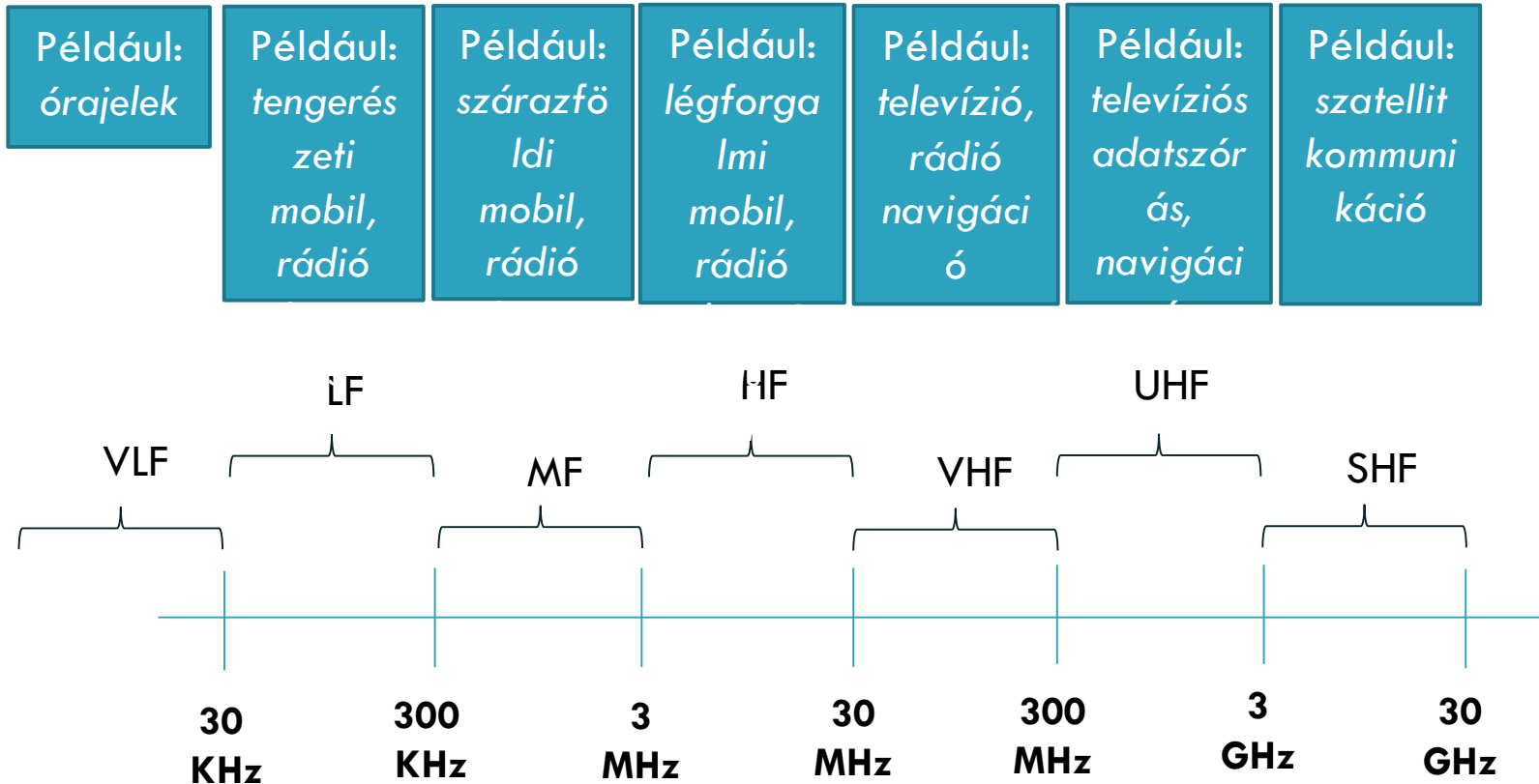
# Elméleti alapok – elektromágneses spektrum

48

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

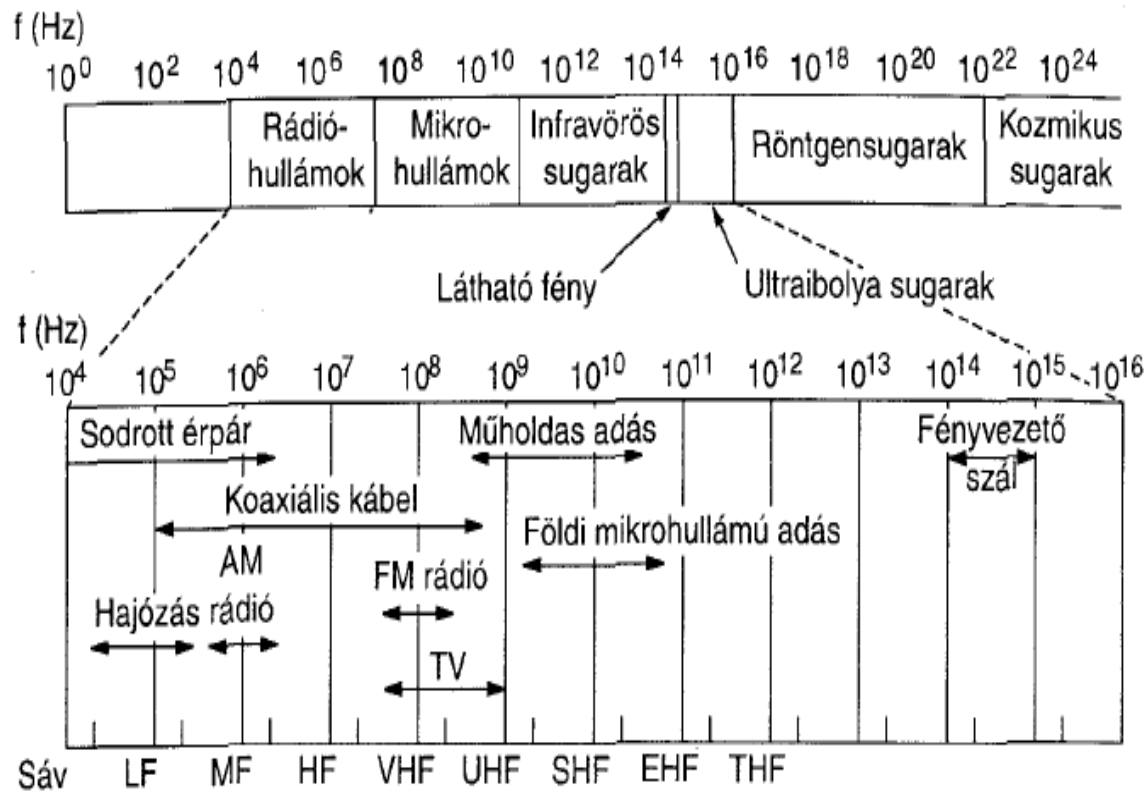
49





# Elméleti alapok – elektromágneses spektrum

50

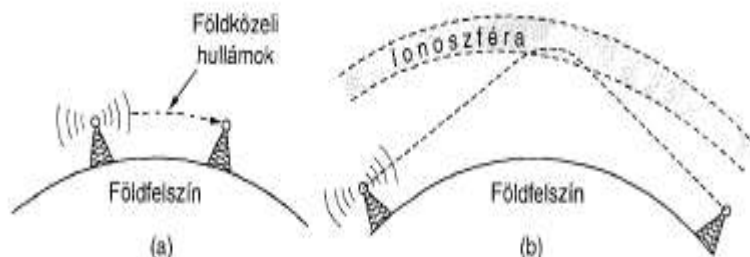


[Forrás: Tanenbaum]

# Átviteli közegek – vezeték nélküli

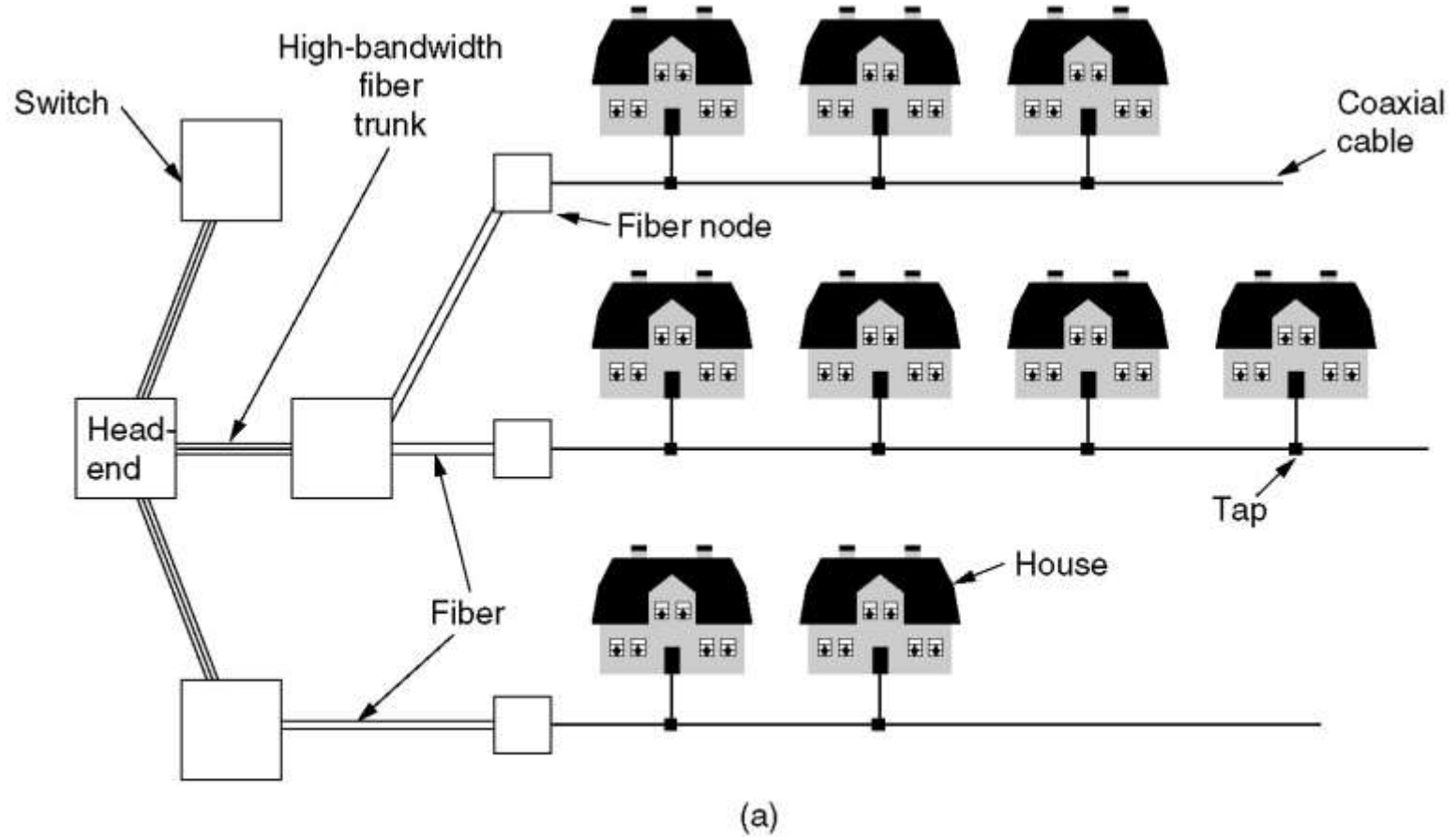
51

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

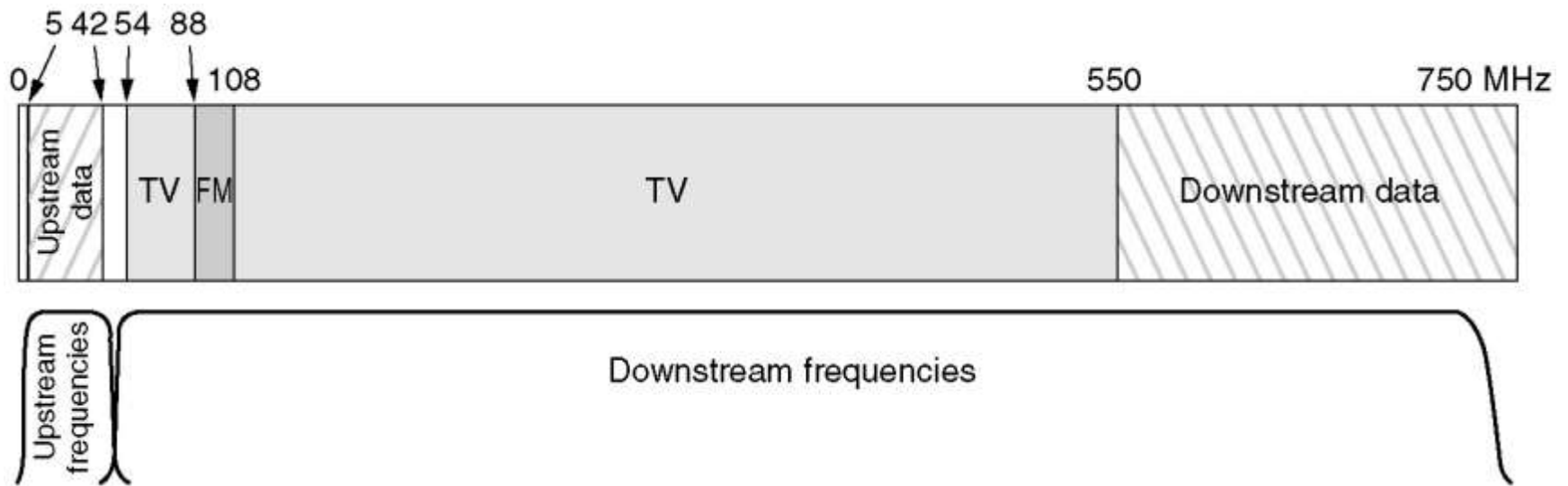


- **Mikrohullámú átvitel** – egyenes vonal mentén terjed; elhalkulás problémája; nem drága
- **Infravörös és milliméteres hullámú átvitel** – kistávolságú átvitel esetén; szilárd tárgyakon nem hatol át
- **Látható fényhullámú átvitel** – lézerforrás + fényérzékelő; nagy sáv szélesség, olcsó, nem engedélyköteles;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

# Internet a kábel TV hálózaton



# Internet a kábel TV hálózaton



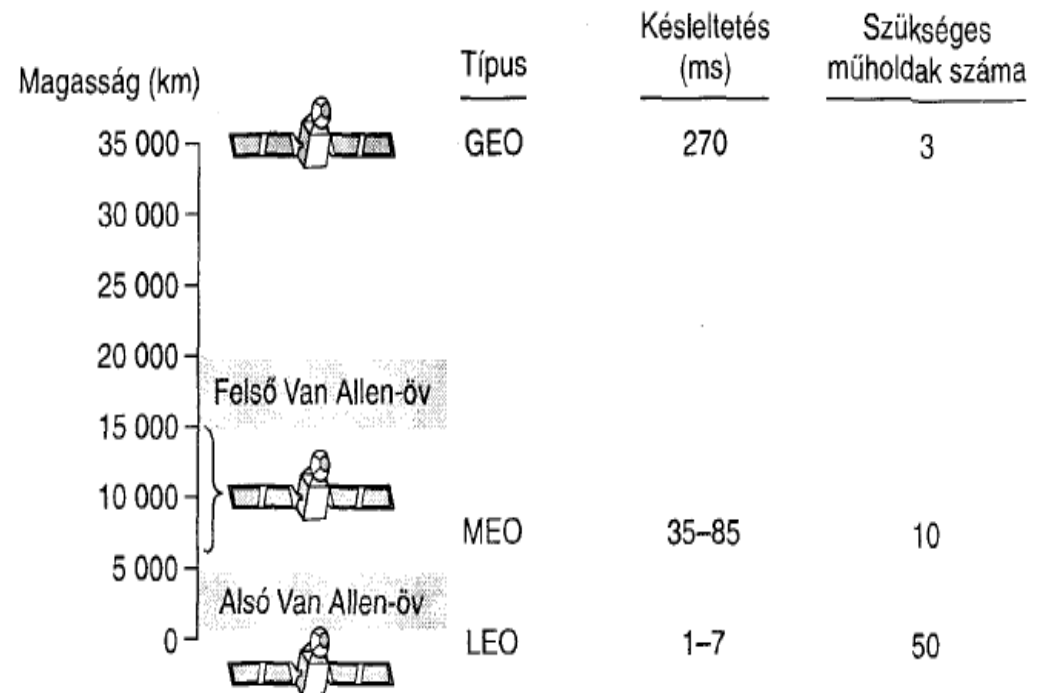
Frekvencia kiosztás egy tipikus kábel TV alapú  
Internet elérés esetén

# Átviteli közegek – kommunikáció műholdak

54

## 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

55

## FAJTÁI

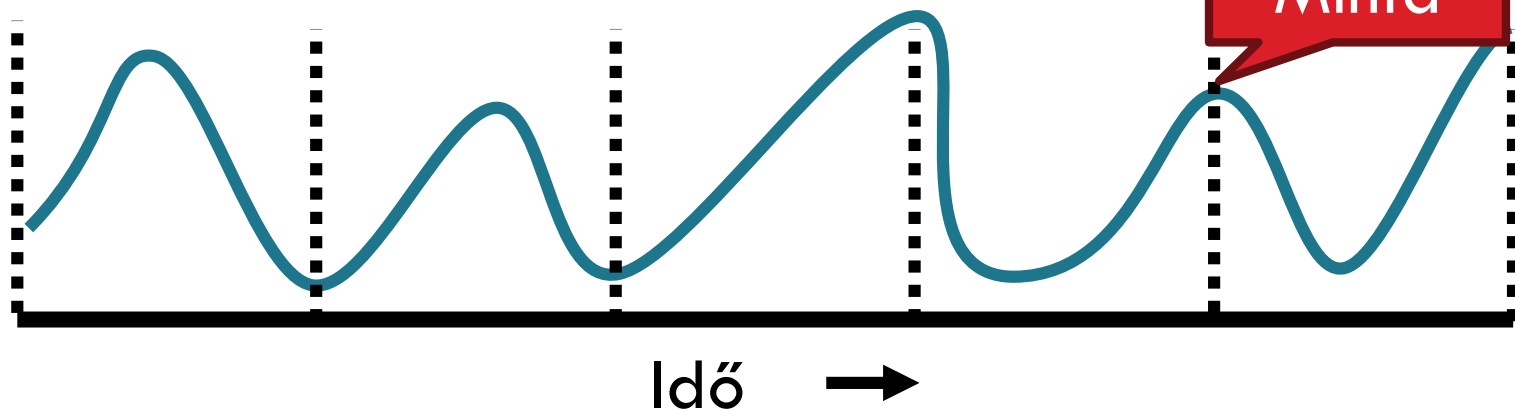
- **Geoszinkron műholdak** – 270 milliszekundum késleltetés, 3 műhold szükséges a föld lefedésére, 35800 kilométeres magasságban keringenek
- **Közepes röppályás műholdak** – 35-85 milliszekundum késleltetés, 10 műhold szükséges a föld lefedésére, a két Van Allen-öv közötti magasságban keringenek
- **Alacsony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

# Adatátvitel

# Kiinduló feltételek

57

- 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

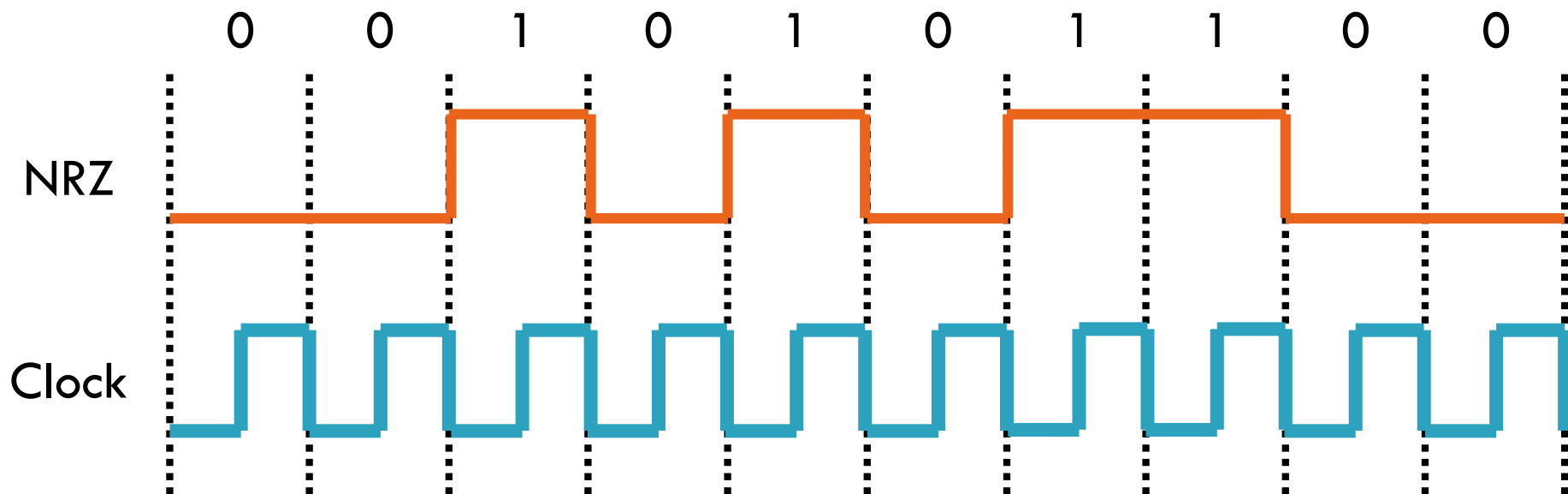




# Non-Return to Zero (NRZ) kódolás

58

□ 1 → magas jel, 0 → alacsony jel



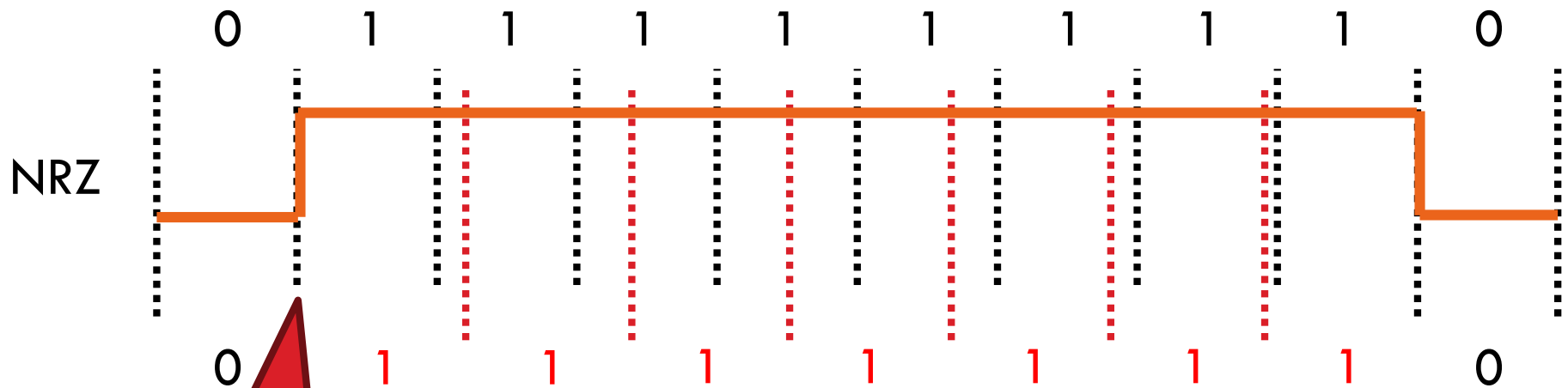
- Probléma: 0-ákból vagy 1-esekből álló hosszú sorozatok a szinkronizáció megszűnéséhez vezetnek
  - ▣ Hogyan különböztessünk meg sok nullát attól az állapottól, amikor nincs jel?
  - ▣ Hogyan hozzuk szinkronba az órákat egy hosszú egyeseket tartalmazó sorozat után?

# Szinkronizáció megszűnése

(„deszinkronizáció”)

59

- ❑ 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

60

## □ 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

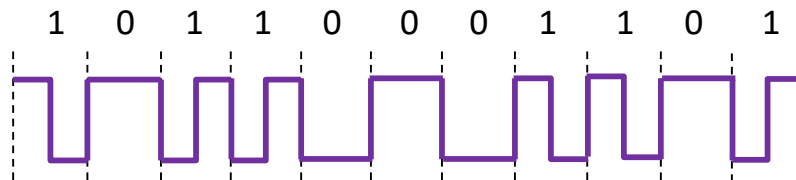
61

□ A digitális kódok 3 lényeges momentumban térnek el:

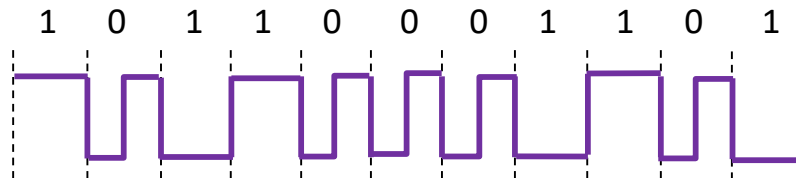
- i. Mi történik egy szignál intervallum elején?
- ii. Mi történik egy szignál intervallum közepén?
- iii. Mi történik egy szignál intervallum végén?

## Néhány konkrét digitális kód

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



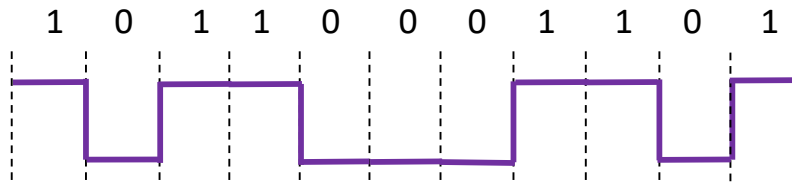
□ *Biphase-Space* (váltás, 0-ás bit esetén váltás, semmi)



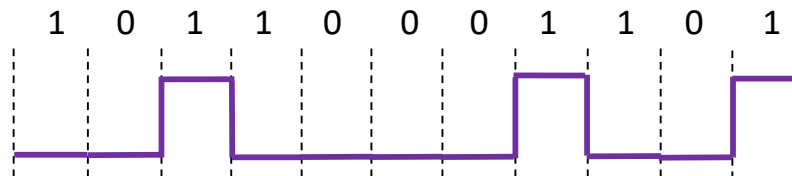
# Digitális kódok 2/3

62

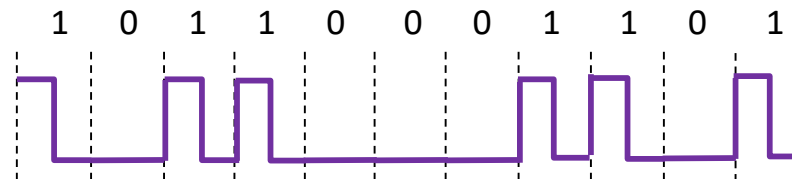
- NRZ-L (1-es bit magas jelszint/ 0-s bit alacsony jelszint, semmi, semmi)



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



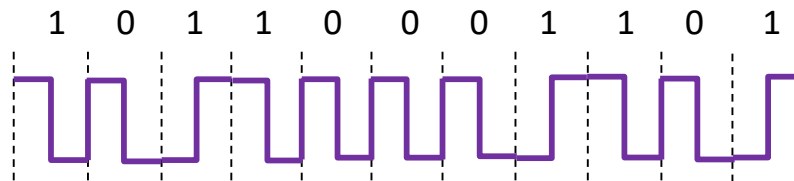
- RZ (1-es bit magas jelszint/ 0-s bit alacsony jelszint, 1-es bit esetén váltás, semmi)



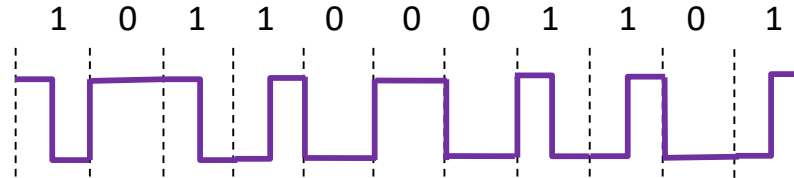
# Digitális kódok 3/3

63

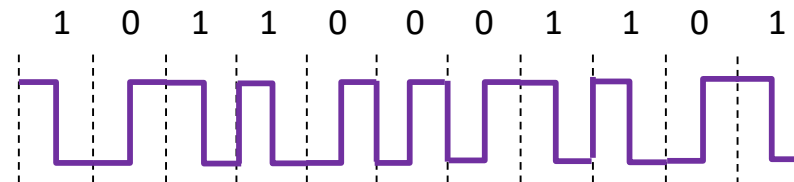
- *Differential Manchester* (0-s bit esetén váltás, váltás, semmi)



- *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)



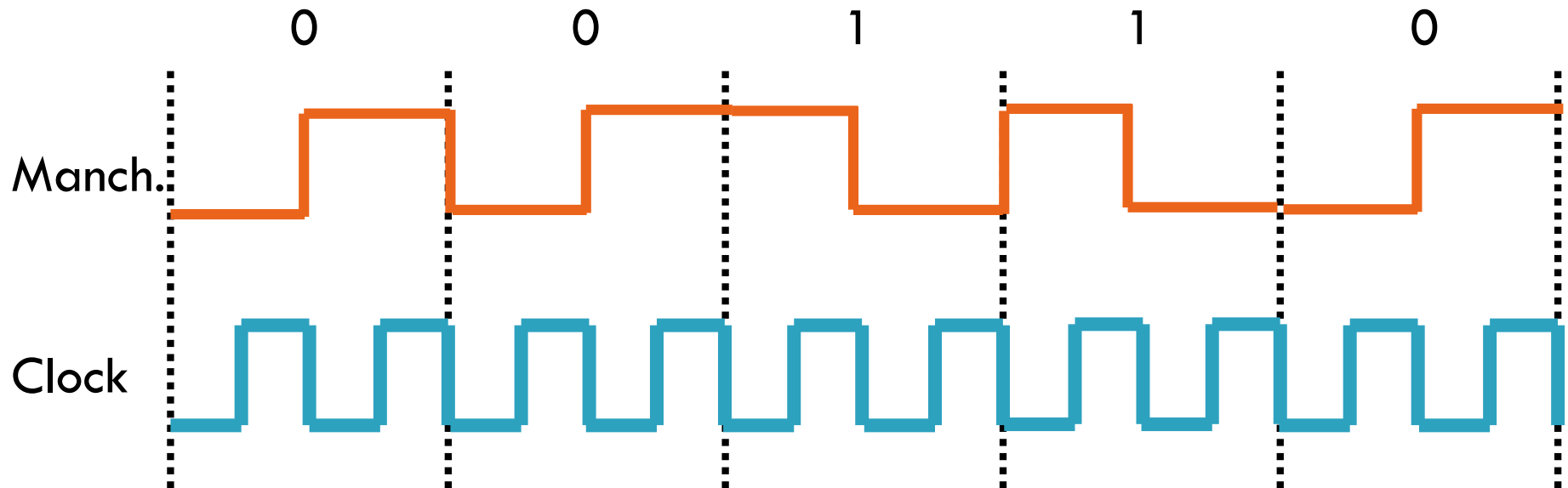
Ethernet példa:  
10BASE-TX  
100BASE-TX

# Manchester (10 Mbps Ethernet

## 10BASE-TX)

65

- 1 → átmenet magasról alacsonyra, 0 → alacsonyról magasra



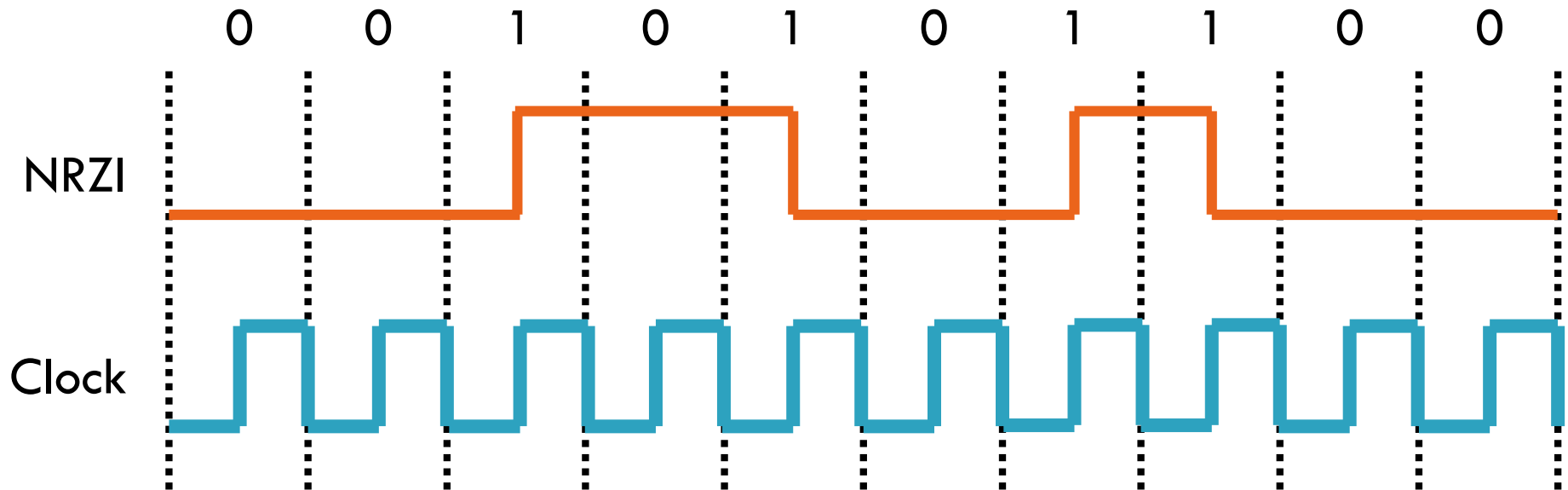
- Megoldás az órák elcsúszásának problémájára (minden bit átmenettel kódolt)
- Negatívum, hogy az átvitel felét használja ki (két óraidő ciklus per bit)



# Non-Return to Zero Inverted (NRZI)

66

□ 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)

67

- 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: 20%-ot veszítünk a hatékonyságból

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

68

## □ Megfigyelés:

□ NRZI

**8-bit/10-bit kódolás használata Gigabit Ethernet**

## □ Ötlet - Kódoljunk minden 4 hosszú bítssorozatot 5-bitbe:

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

4-bit	5-bit	4-bit	5-bit
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

## □ Hátrányok: 20%-ot veszítünk a hatékonyságból

# Jelátvitel

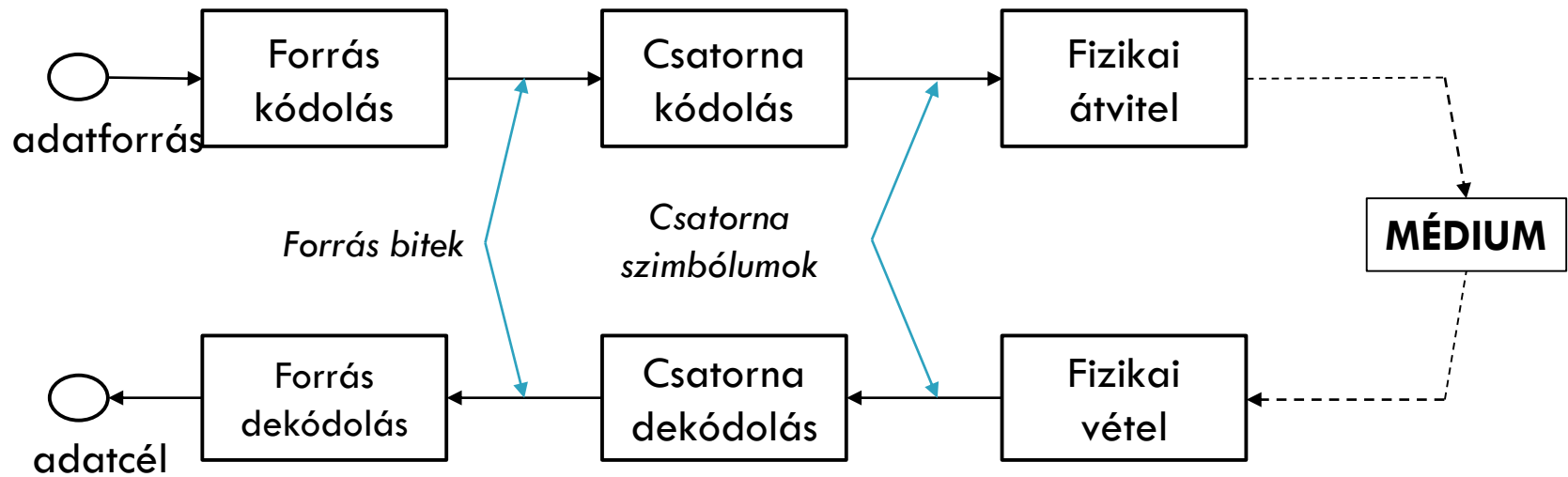
# Alapsáv és széles-sáv

70

- 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

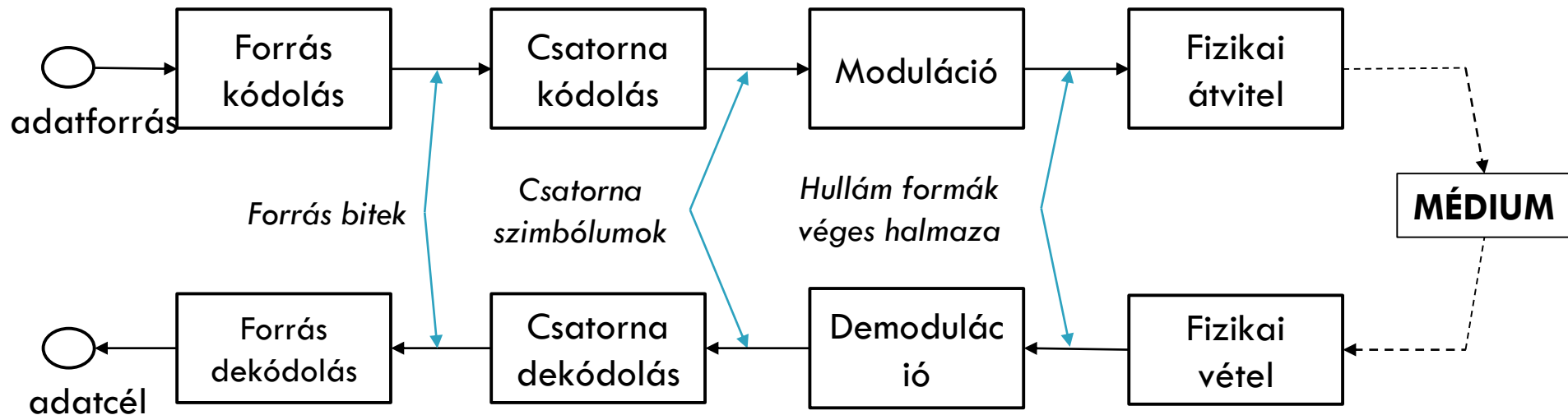
# Digitális alapsávú átvitel struktúrája

71



# Digitális szélessávú átvitel struktúrája

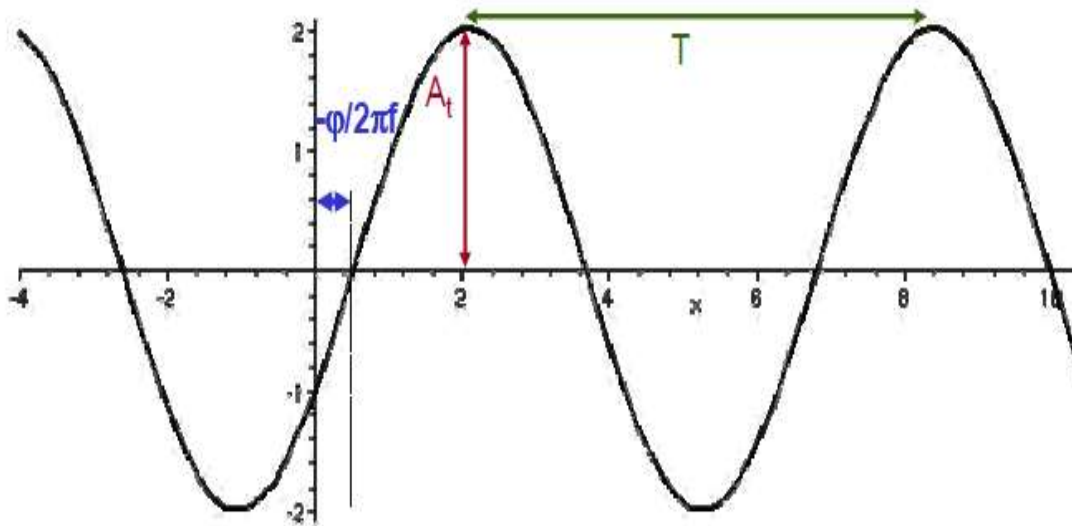
72



# Amplitúdó ábrázolás

73

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

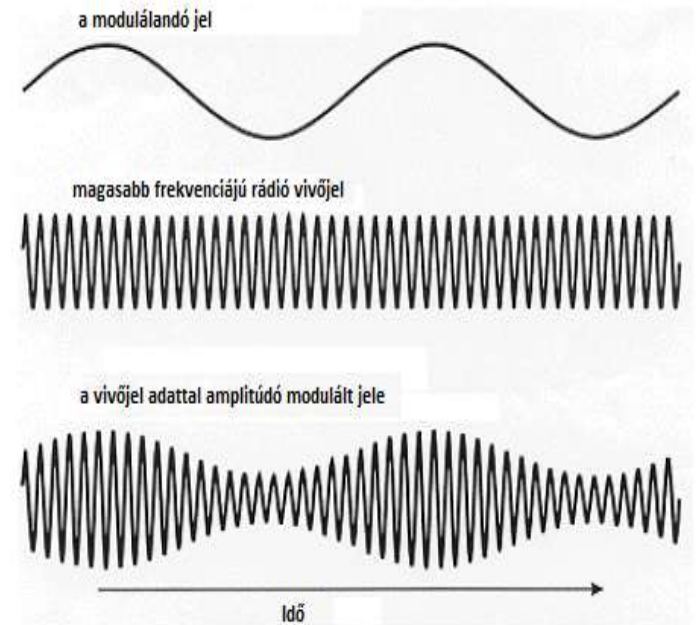
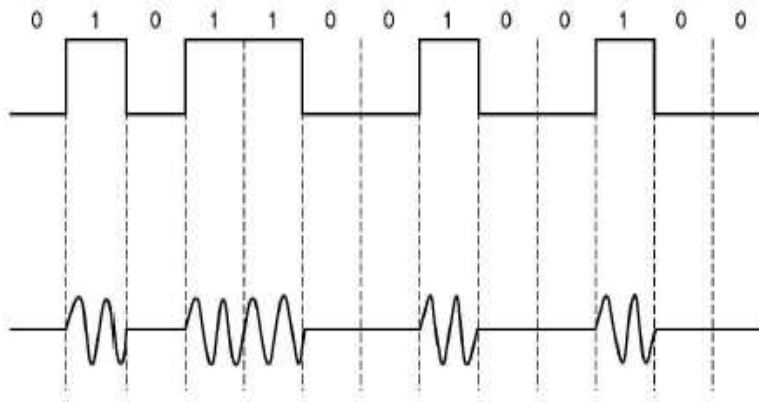




# Amplitúdó moduláció

74

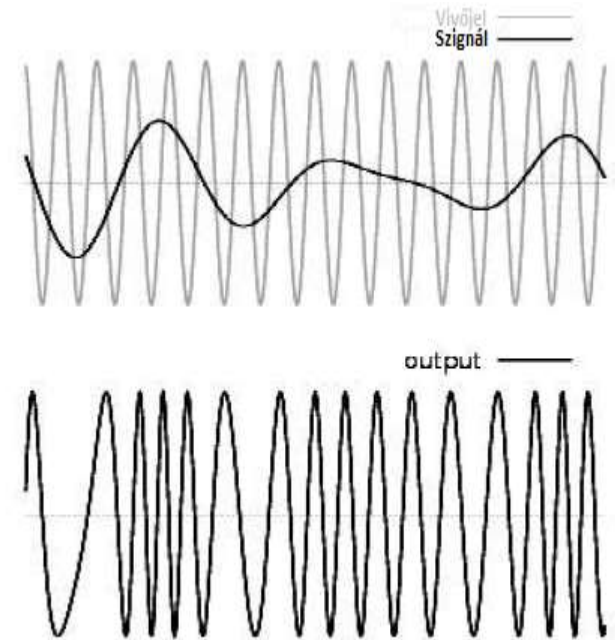
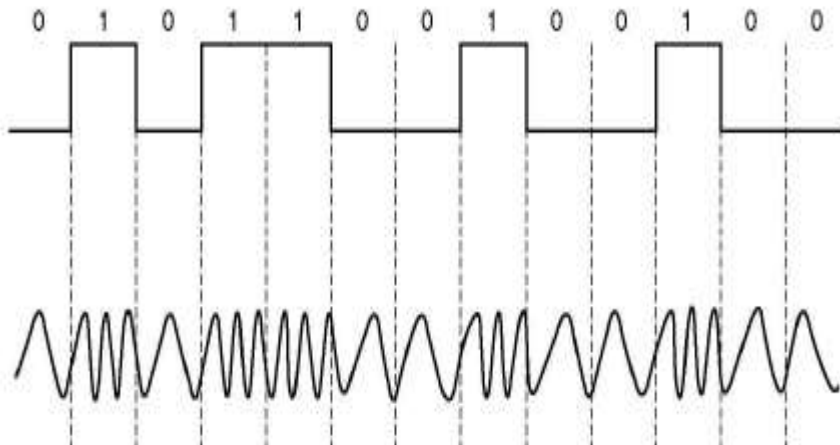
- Az  $s(t)$  szignált a szinusz görbe amplitúdójaként kódoljuk, azaz:  
$$f_A(t) = s(t) * \sin(2\pi f t + \varphi)$$
- ▣ *analóg szignál*: amplitúdó moduláció
- ▣ *Digitális szignál*: amplitúdó keying (szignál erőssége egy diszkrét halmaz értékeinek megfelelően változik)



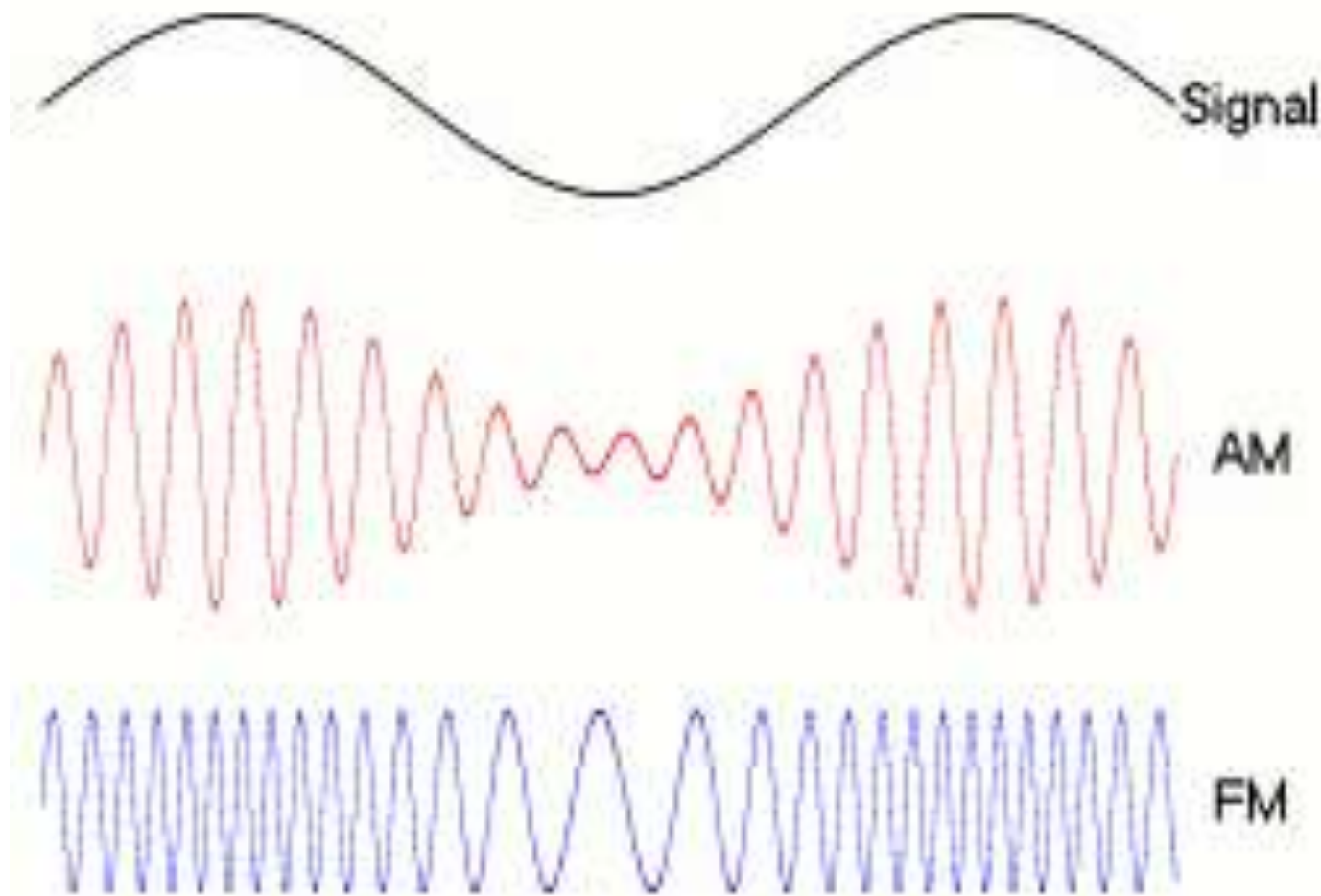
# Frekvencia moduláció

75

- 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



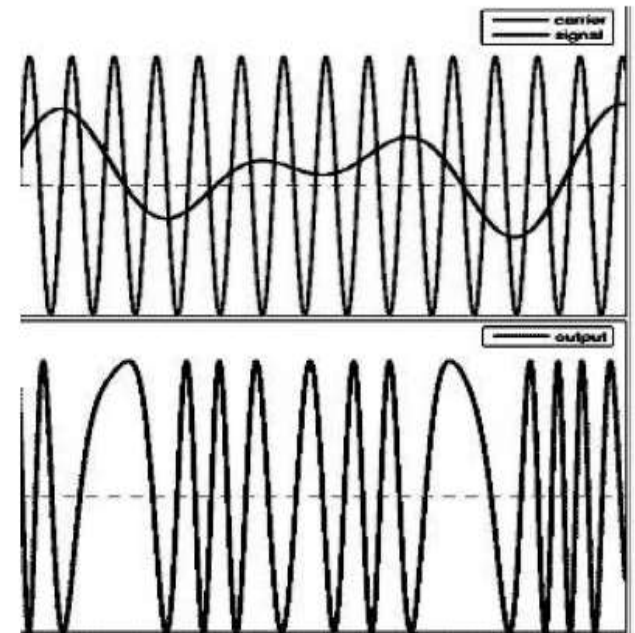
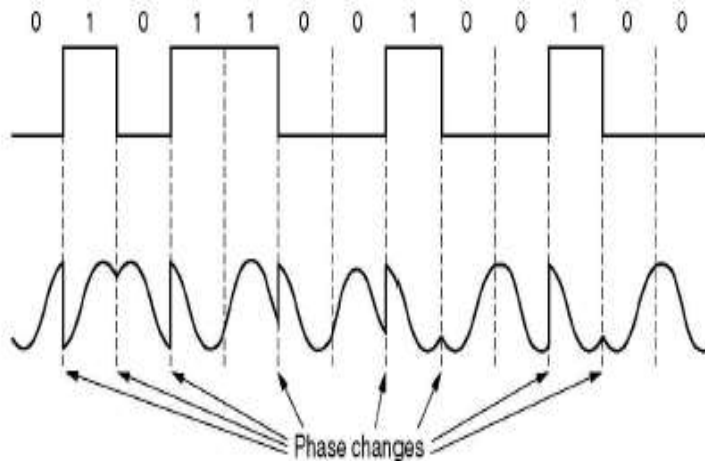
# Fázis moduláció

77

- 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

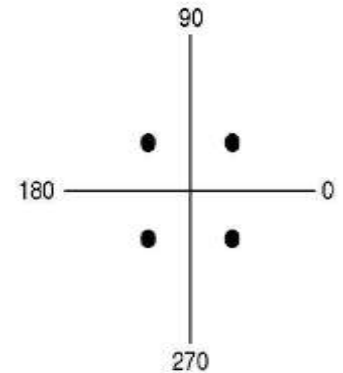


# Több szimbólum használata

78

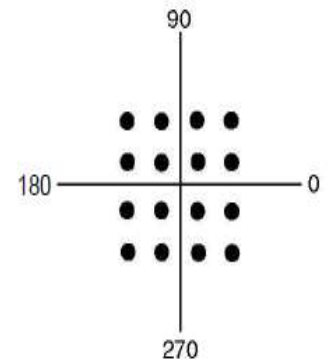
## PSK különböző szimbólumokkal

- 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 **Quadrature Phase Shift Keying**



## Amplitúdó- és fázis-moduláció

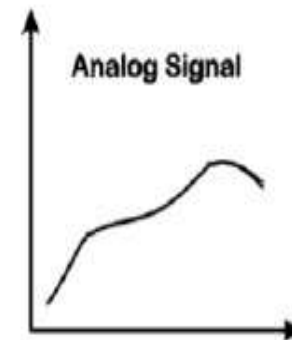
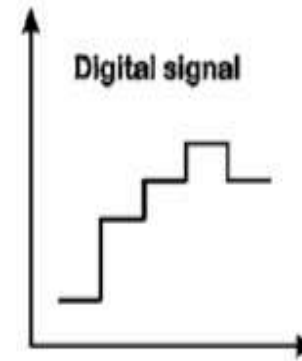
- Kombinálhatóak a módszerek
- Diszkrét halmaz kódolja a szimbólumokat
  - ▣ Például 16 különböző szimbólum (amplitúdó és fázis kombinációja) használata
  - ▣ Ezzel négyszeres adatrátát kapunk a szimbólum rátához képest
  - ▣ Ezt nevezzük **Quadrature Amplitude Modulation-16**



# Digitális és analóg jelek összehasonlítása

79

- *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



# Csatorna hozzáférés módszerei (statikus)

# Multiplexálás

81

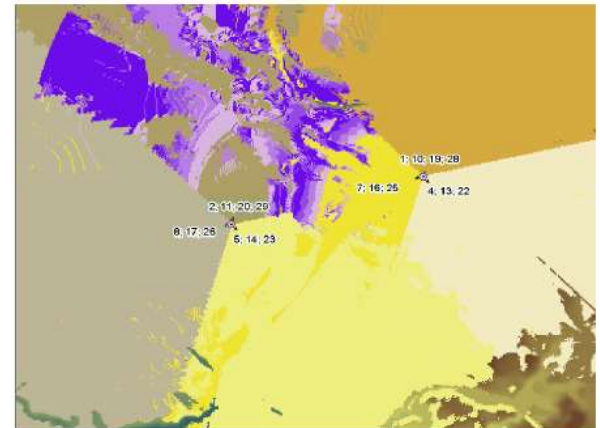
- ❑ Lehetővé teszi, hogy több jel egyidőben utazzon egy fizikai közegen
- ❑ Több jel átvitele érdekében a csatornát logikailag elkülönített kisebb csatornákra (alcsatornákra) bontjuk
- ❑ A küldő oldalon szükséges egy speciális eszköz (multiplexer), mely a jeleket a csatorna megfelelő alcsatornáira helyezi



# Térbeli multiplexálás

82

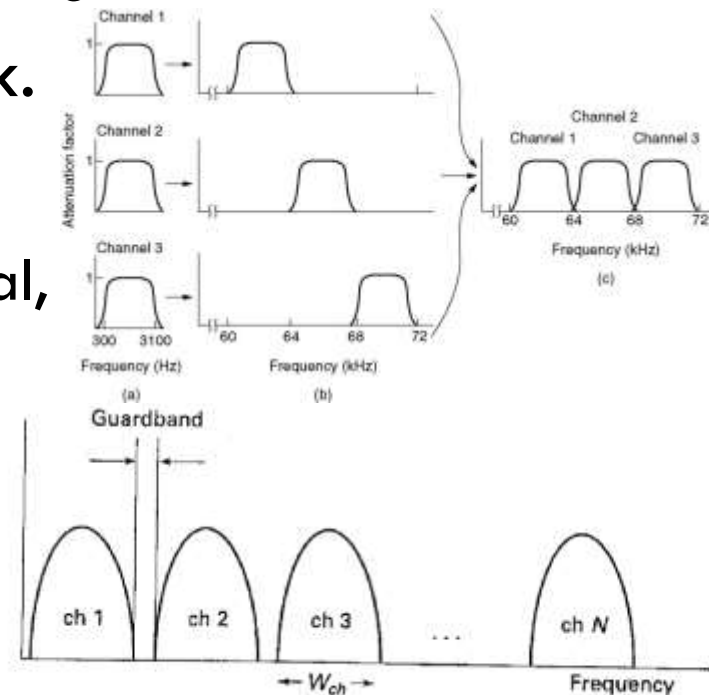
- Ez a legegyszerűbb multiplexálási módszer.
- Angolul **Space-Division Multiplexing**
- Vezetékes kommunikáció esetén minden egyes csatornához külön pont-pont vezeték tartozik.
- Vezeték nélküli kommunikáció esetén minden egyes csatornához külön antenna rendelődik.



# Frekvencia multiplexálás

83

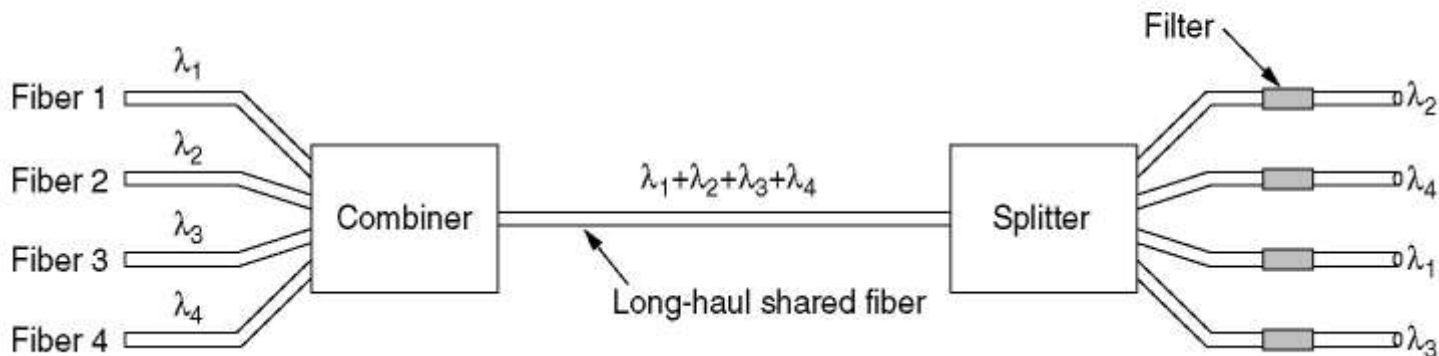
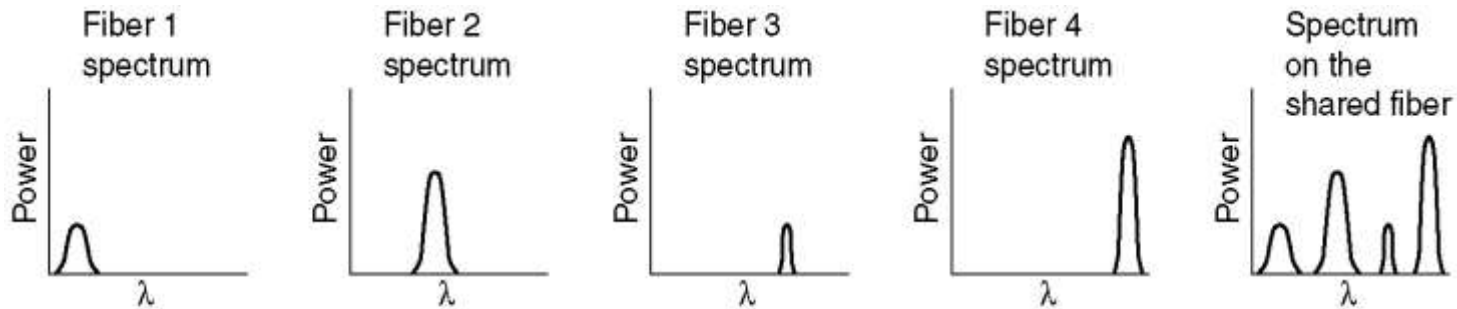
- Olyan módszertan, amelyben egy kommunikációs csatornán több szignál kombinációja adja az átvitelt.
- Minden szignálhoz más frekvencia tartozik.
- Angolul **F**requency-**D**ivision **M**ultiplexing
- Tipikusan analóg vonalon használják.
- Többféle megvalósítása van:
  - XOR a szignálokon véletlen bitsorozattal,
  - pseudo véletlen szám alapú választás



# Hullámhossz multiplexálás

84

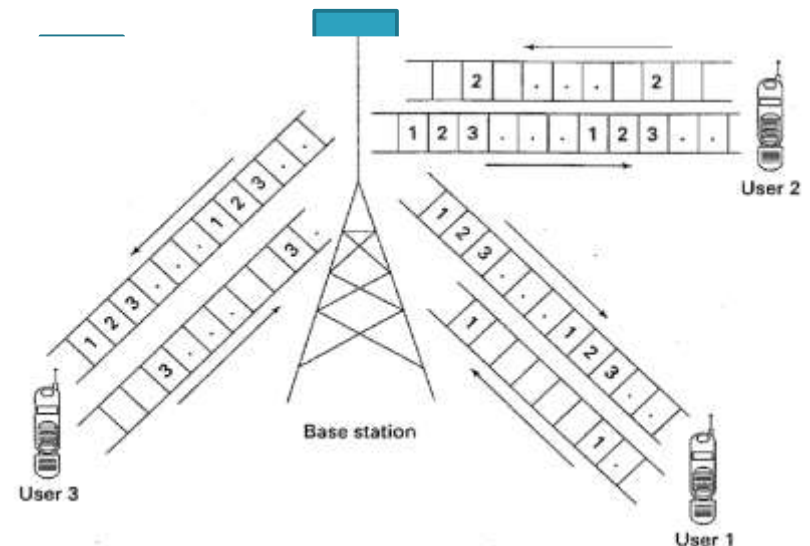
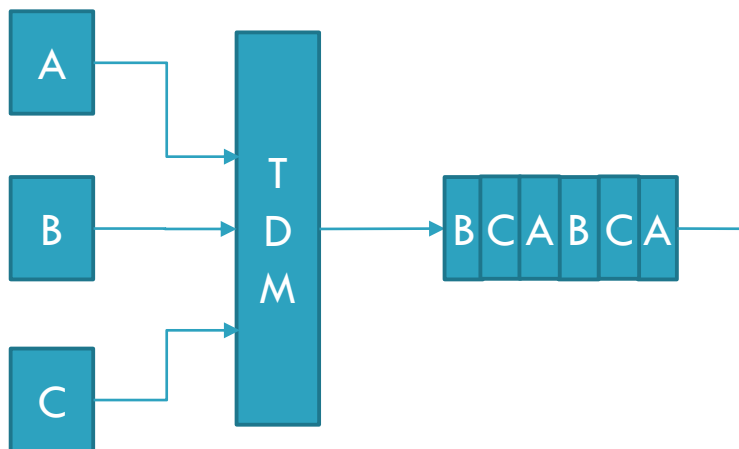
- Optikai kábeleknel alkalmazzák.
- Angolul **Wavelength-Division Multiplexing**



# Időbeli multiplexálás

85

- 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

86

- 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

87

- m-szeres sáv szélesség 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

88

- 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

89

## A állomás


Chip kódja legyen  $(1, -1)$ .  
Átvitelre szánt adat legyen  
1011

1. Egyedi szignál  
előállítás 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  
előállítás 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

90

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

## 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

91

- ❑ Tér-multiplexálás avagy *SDM* (párhuzamos adatátviteli csatornák)
  - ❑ cellurális hálózatok
- ❑ Frekvencia-multiplexálás avagy *FDM*(a frekvencia tartomány felosztása és küldőhöz rendelése)
  - ❑ „**D**irect **S**equence **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!