

# **Számítógépes Hálózatok**

## **ősz 2006**

### **4. Fizikai réteg – Alapsáv, szélessáv, moduláció, vezetékes és vezeték nélküli átvitel**

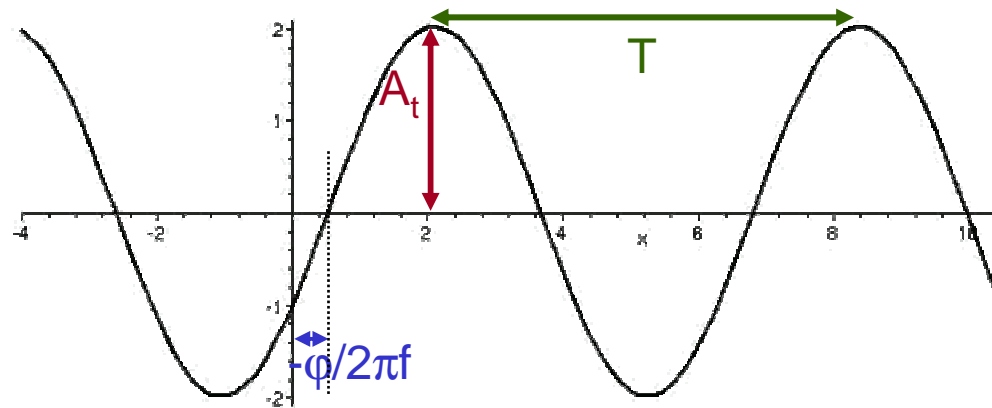
# Alapsáv és szélessáv

- Alapsáv (baseband)
  - A digitális szignál direkt árammá vagy feszültségváltozássá alakítódik
  - A szignál minden frekvenciával átvitelre kerül
  - Pl. NRZ-vel (feszültség magas = 1, feszültség alacsony = 0)
  - Probléma:
    - Átviteli korlátok
- Szélessáv (broadband)
  - Az adatok egy széles frekvencia-tartományban kerülnek átvitelre
  - Lehetőségek:
    - Az adatokat egy vivőhullámra tehetjük (Amplitúdó moduláció)
    - A vivőhullámot megváltoztathatjuk (Frekvencia / fázis moduláció)
    - Különböző vivőhullámokat egyidejűleg használhatunk fel

# Szélessáv

- Ötlet:
  - A közeg ideális Frekvenciáira koncentrálnunk
  - Egy sinus-görbét használunk mint vivőhullámot a szignáloknak
- Egy sinusgörbe nem tartalmaz információt
- Az adatátvitelhez a sinusgörbét folyamatosan meg kell változtatni (modulálni)
  - spektrális bővítés által (több frekvencia a Fourier-analízisben)
- A következő paraméterek változtathatók meg:
  - Amplitúdó  $A$
  - Frekvencia  $f=1/T$
  - Fázis  $\phi$

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$



# Amplitúdó-moduláció

- Az időben változó szignált  $s(t)$  a sinusgörbe amplitúdójaként kódoljuk:

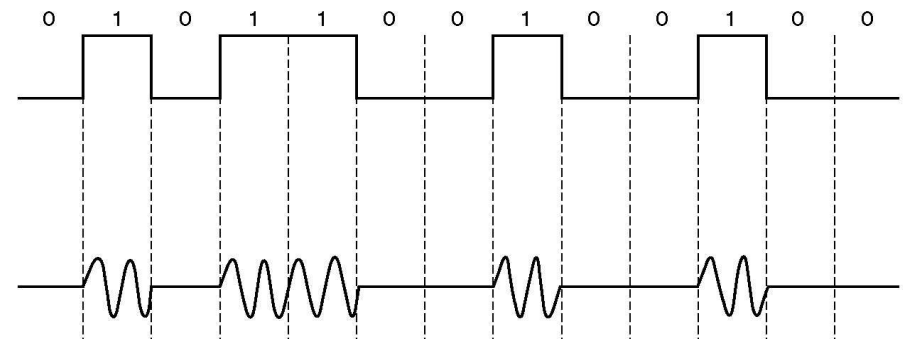
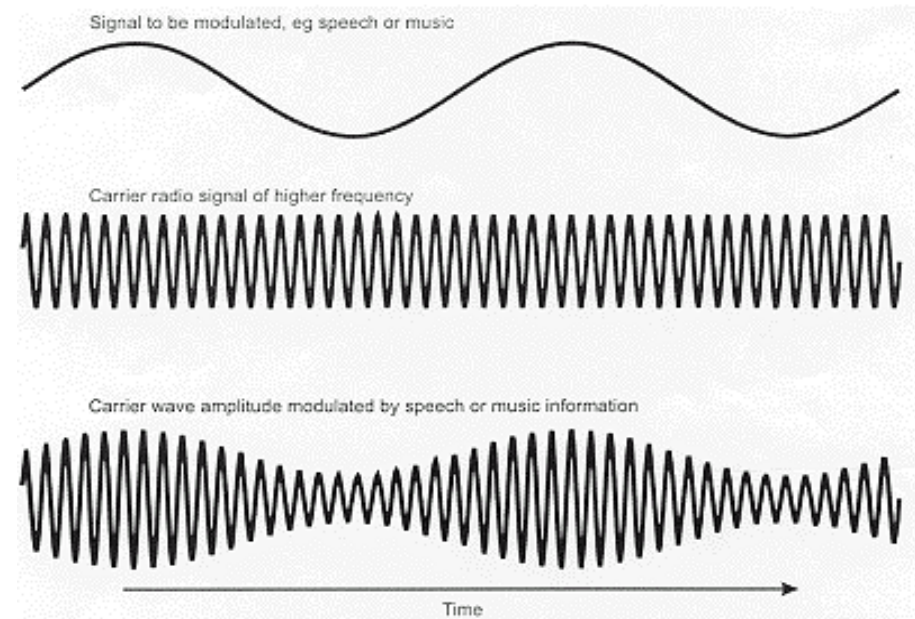
$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi ft + \phi)$$

- Analóg szignál: **Amplitúdó-moduláció**

- A szignál folytonos függvénye az időnek
- Pl. második hosszabb hullámjel (hanghullám)

- Digitális szignál: **Amplitúdó keying**

- A szignál erőssége egy diszkrét halmaz értékeinek megfelelően változik
- Speciális eset: diszkrét halmaz:  $\{0,1\}$
- **on/off keying**

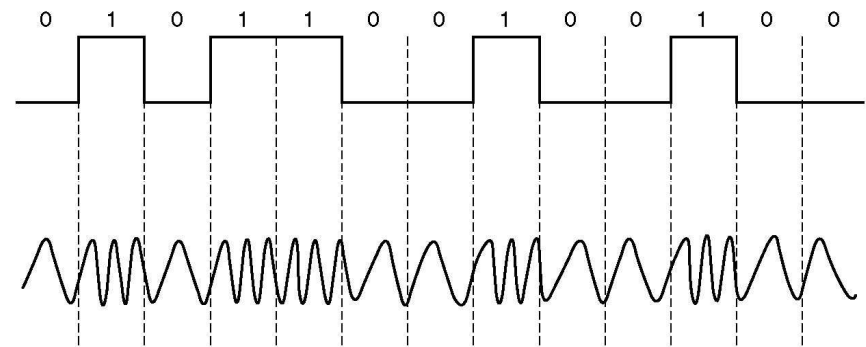
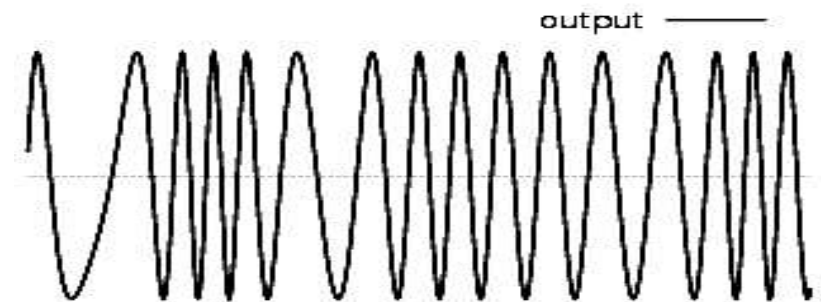
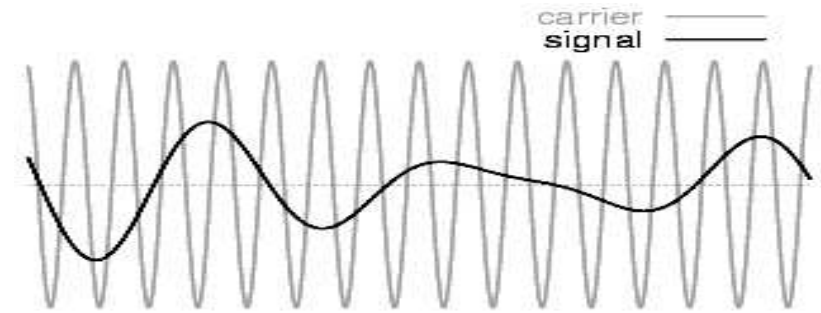


# Frekvencia-moduláció

- Az időben változó  $s(t)$  szignált a sinus görbe frekvenciájában kódoljuk:

$$f_F(t) = a \sin(2\pi s(t)t + \phi)$$

- Analóg szignál: **Frekvencia-moduláció**
  - Az idő folytonos függvénye
- Digitális szignál **Frekvencia-eltolás keying (frequency shift keying, FSK)**
  - Pl. egy diszkrét halmaz elemeihez (szimbólumaihoz) különböző frekvenciákat rendelünk

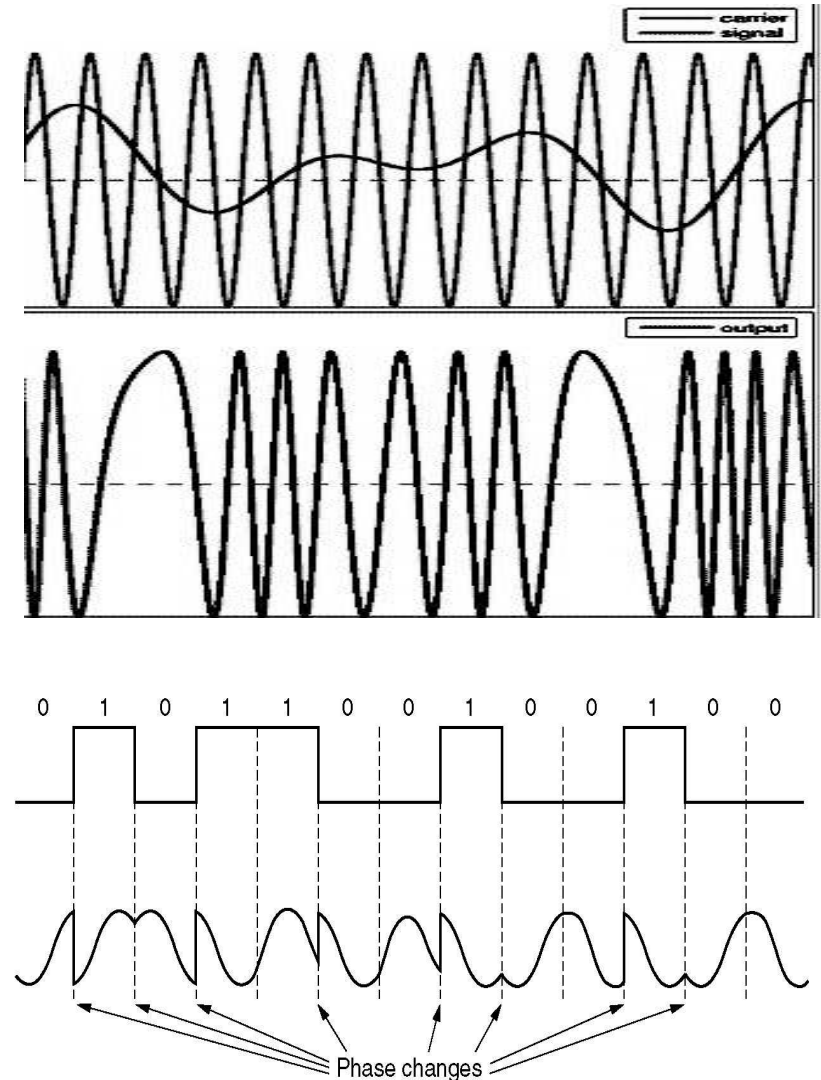


# Fázis-moduláció

- Az időben változó  $s(t)$  szignált a sinus görbe fázisában kódoljuk:

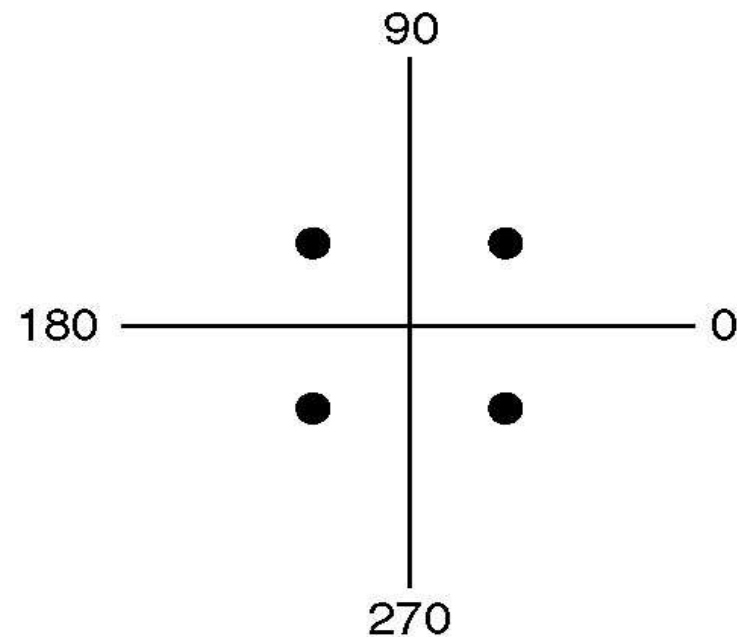
$$f_P(t) = a \sin(2\pi ft + s(t))$$

- Analóg szignál: **Fázis-moduláció**
  - Nagyon előnytelen tulajdonságok
  - Nem használják
- Digitális szignál: **Fáziseltolás keying (phase-shift keying, PSK)**
  - Pl. egy diszkrét halmaz elemeihez különböző fázisokat rendelünk



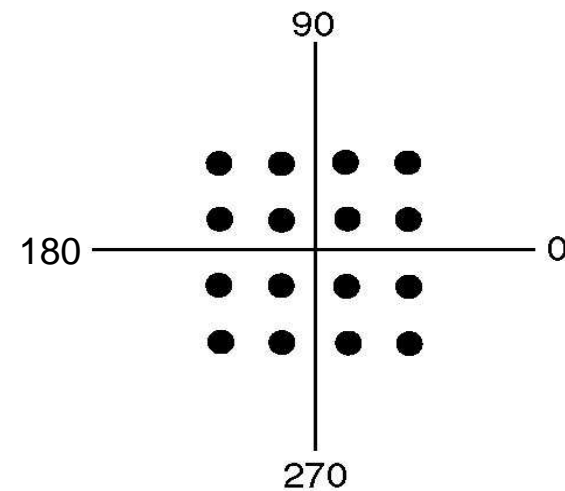
## PSK különböző szimbólumokkal

- Fáziseltolódások nagyon könnyen felismerhetők a fogadó által
- Egy diszkrét halmaz különböző szimbólumainak a kódolása nagyon egyszerű
  - Használjunk pl.  $\pi/4$ ,  $3/4\pi$ ,  $5/4\pi$ ,  $7/4\pi$  fáziseltolást (4 szimbólumhoz)
    - Rika: 0 fáziseltolás (szinkronizáció miatt)
    - 4 szimbólum esetén az adatráta kétszer akkora mint a szimbólumráta
- Ezen módszer neve Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)



# Amplitúdó- és fázis-moduláció

- Amplitúdó- és fázis-moduláció kombinálható
- Pl.: QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation)
  - 16 különböző fázis-amplitúdó kombinációt használunk, minden szimbólumhoz egyet
  - Minden szimbólum 4 bitet kódol ( $2^4 = 16$ )
  - Az adatráta tehát négyszer akkora, mint a szimbólumráta





# Digitális és analóg szignálok összehasonlítása

## ● Digitális átvitel

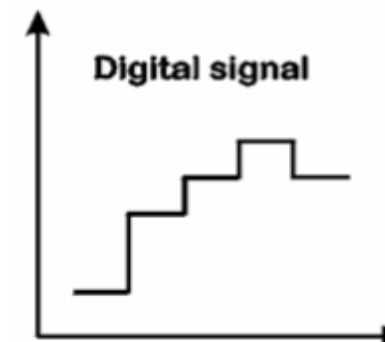
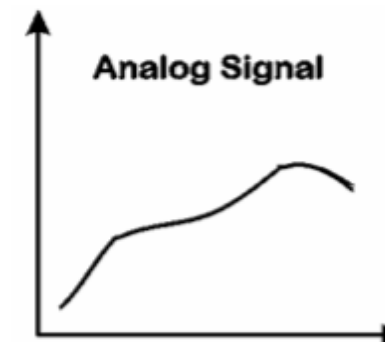
- Diszkrét szignálok véges halmaza
- Pl. feszültség értékek / áramerősség értékek véges halmaza

## ● Analóg átvitel

- Szignálok végtelen (folytonos) halmaza
- Pl. a szignál a feszültségnek vagy az áramerősségnek felel meg a vezetékben

## ● Digitális szignálok előnyei:

- Lehetőség van a vételpontosság helyreállítására és az eredeti szignál rekonstrukálására
- Analóg átvitel esetén fellépő hibák önmagukat felerősíthetik



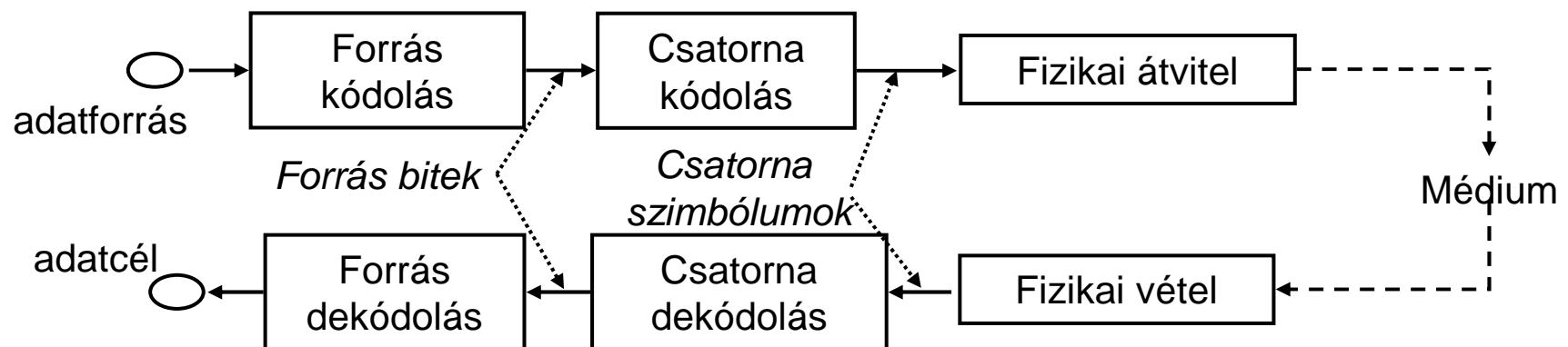
## Bithiba gyakoriság és szignál-zaj arány

- Minél nagyobb a szignál-zaj arány (signal-to-noise ratio - SNR), annál kevesebb hiba lép fel
- **Bithiba gyakoriság (bit error rate - BER)**
  - A hibásan fogadott bitek részaránya
- Függ
  - a szignál erőségétől,
  - a zajtól,
  - az átviteli sebességtől,
  - a felhasznált módszertől
- A bithiba (BER) tipikusan függ a szignál-zaj aránytól (SNR)
  - Pl.: DPSK (differential phase-shift keying)

$$\text{BER}(\text{SNR}) = 0,5 \cdot e^{-\text{SNR}}$$

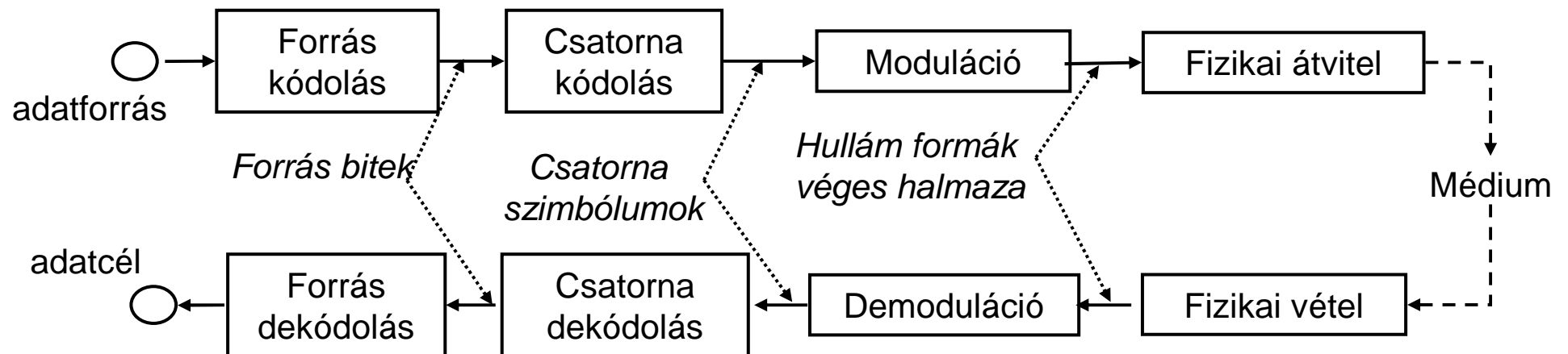
# Egy digitális alapsávú átvitel struktúrája

- Forrás kódolás
  - Redundáns vagy nem releváns információk eltávolítása
  - Pl. veszteséssel járó tömörítéssel (MP3, MPEG 4) vagy
  - veszteség nélküli tömörítéssel (Huffman-kód)
- Csatorna kódolás
  - Forrásbitek leképezése csatorna szimbólumokra
  - Esetleg redundancia hozzáadásával, amit a csatorna tulajdonságaihoz igazítunk
- Fizikai átvitel
  - Fizikai eseményekké konvertáljuk



# Egy digitális szélessávú átvitel struktúrája

- MObulation/DEModulation
  - A csatornaszimbólumok lefordítása
    - amplitudó modulációval
    - fázis modulációval
    - frekvencia modulációval
    - vagy ezek egy kombinációjával



# Fizikai médiumok

- Vezetékhez kötött átvitel
  - Rézvezeték – sodort érpár (twisted pair)
  - Rézvezeték – Koaxiális kábel
  - Üvegszál
- Vezeték nélküli átvitel
  - Rádióhullám
  - Mikrohullám
  - Infravörös
  - Fényhullámok

## Sodort érpár (Twisted Pair TP)



(a)

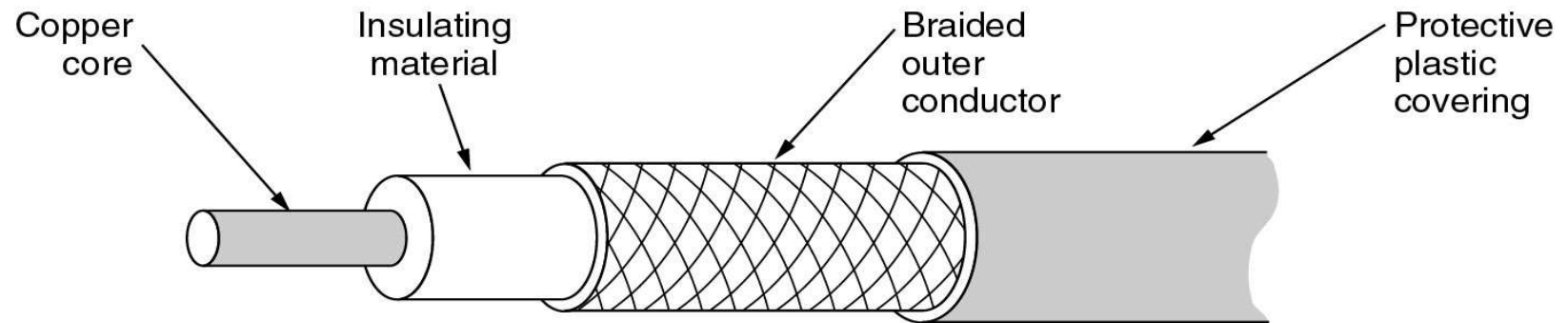


(b)

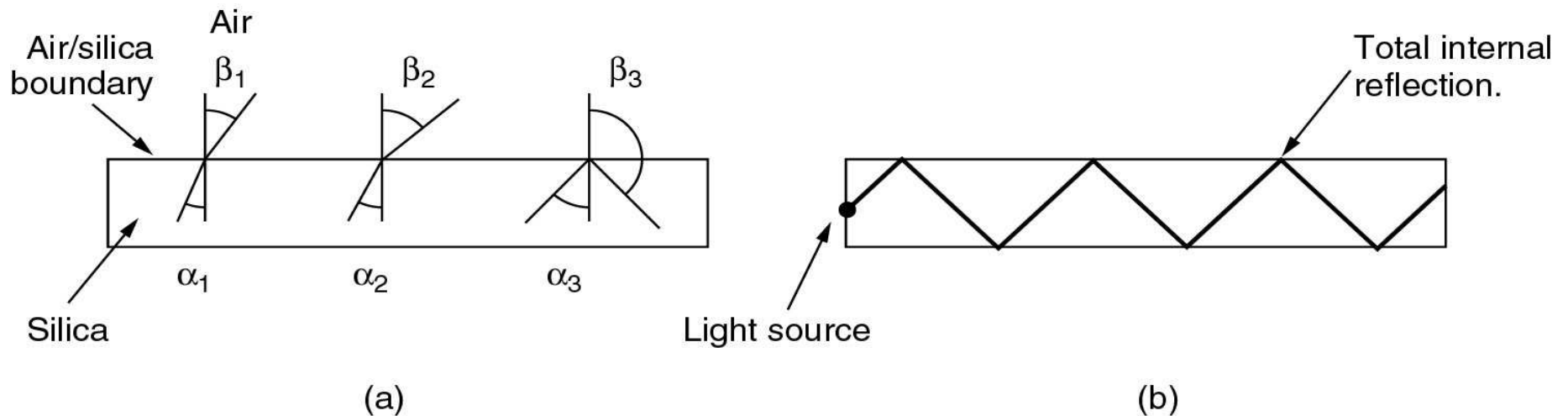
(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

# Koaxialkabel



## Optikai kábel (üvegszál)



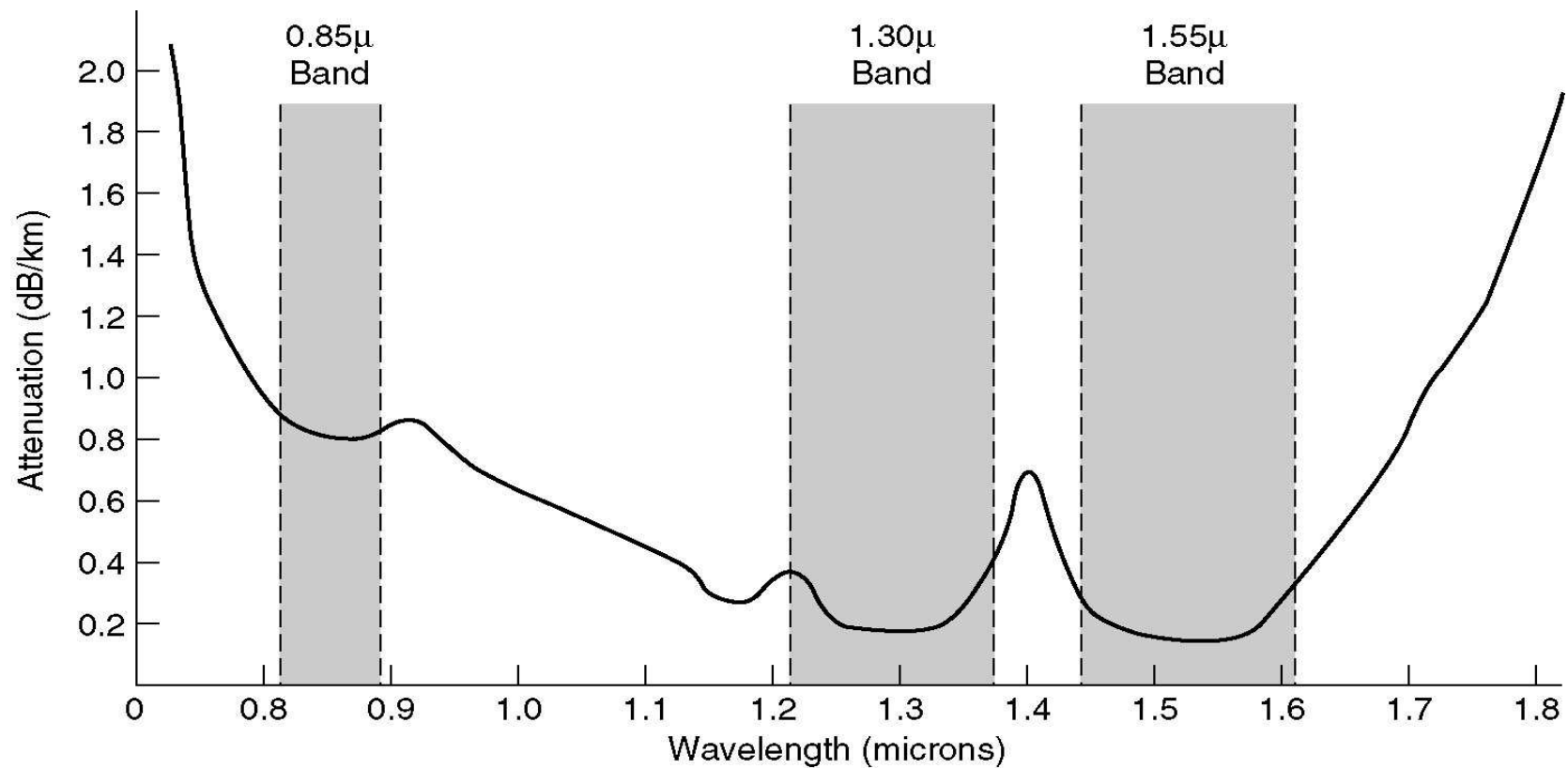
Snellius törvénye: 
$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_{\text{üveg}}}{c_{\text{levegő}}}$$

- Elhajlás és tükröződés a levegő/üveg határon különböző szögeknél
- A fény a tükröződés miatt az üvegben marad teljesen



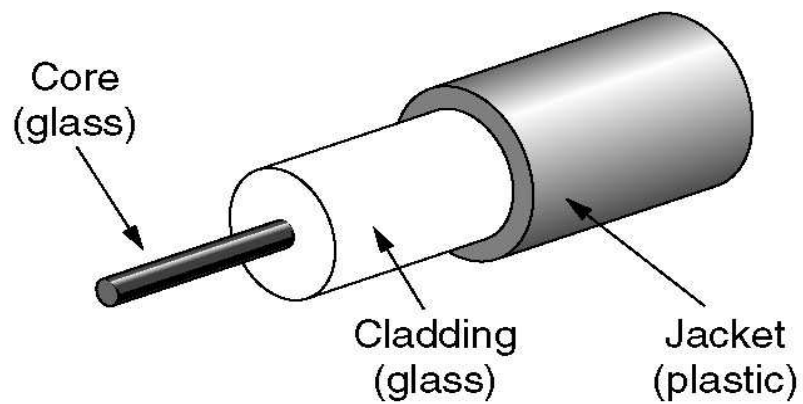
# Fény átvitele üvegszálon

## Infravörös fény elnyelődése az üvegszálaban

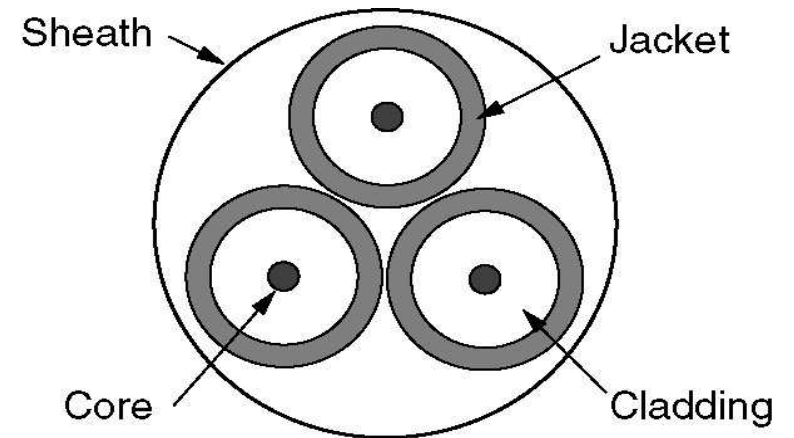


# Üvegszál

- (a) Egy egyszerű szál oldalnézete
- (b) Egy hármasszálköteg metszete



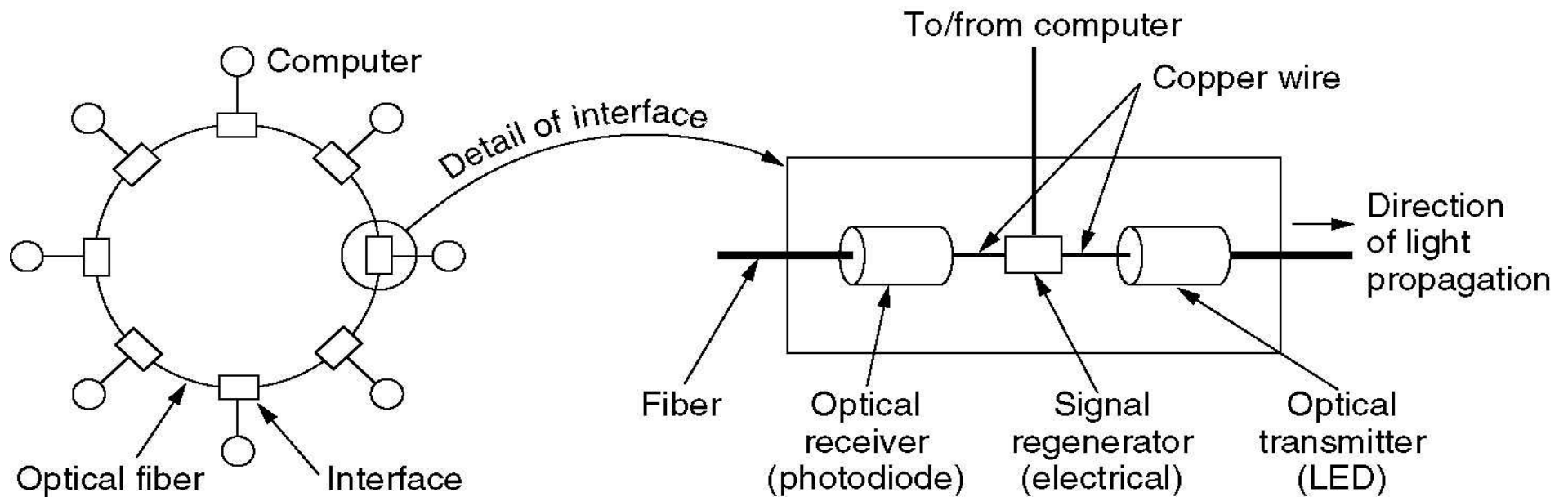
(a)



(b)

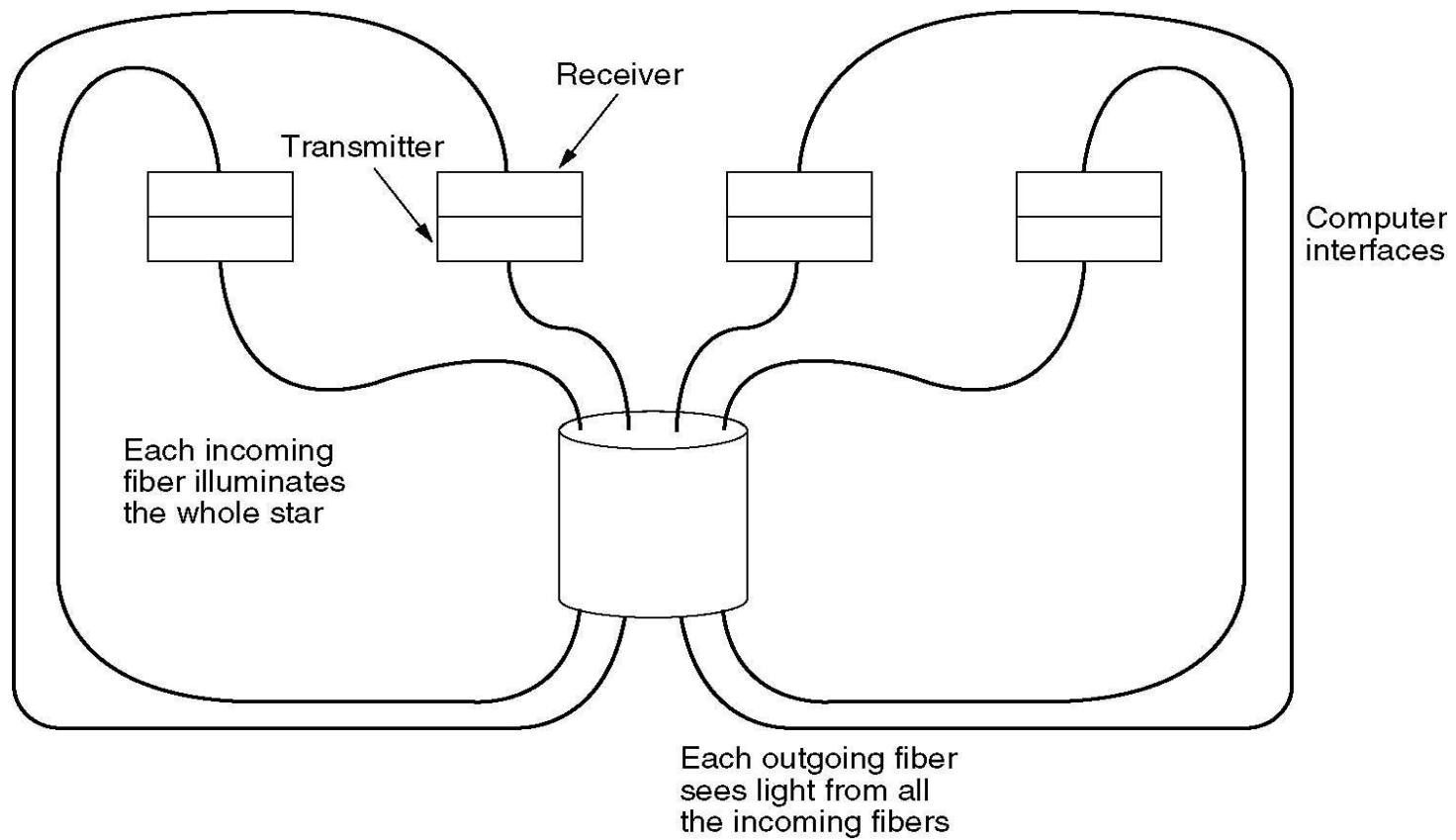
# Optikai hálózatok

Üvegszál gyűrű aktív ismétlőkkel (repeater-ekkel)

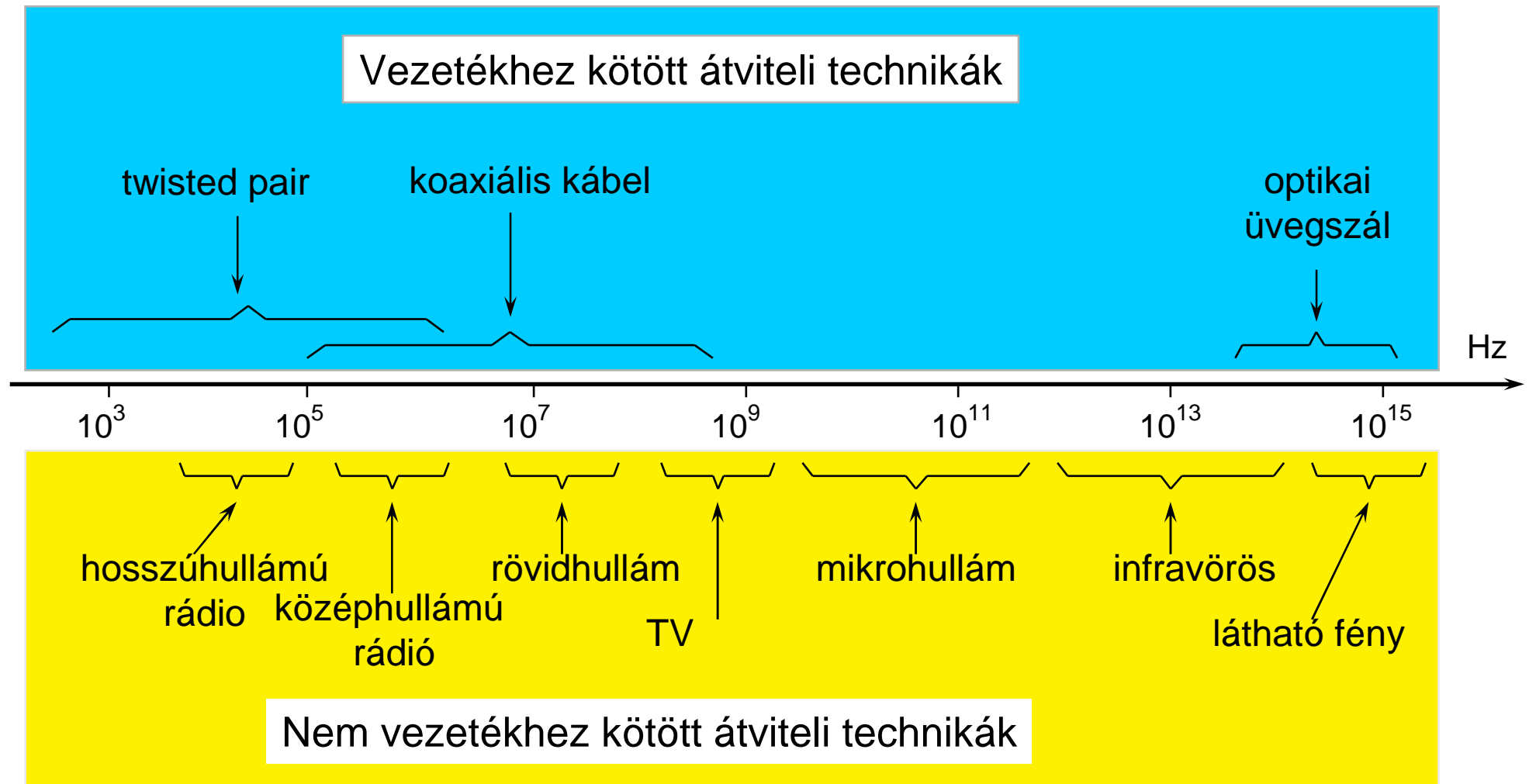


# Optikai hálózatok

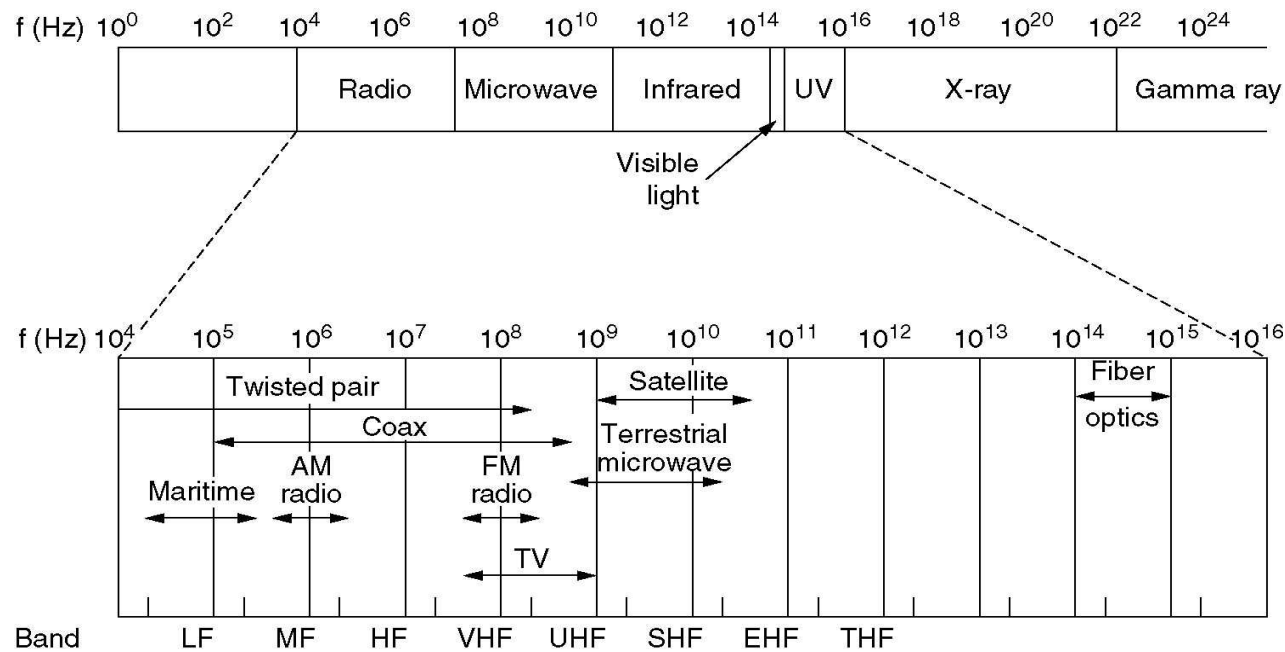
Egy passzív csillagkapcsolat egy optikai hálózatban



# Az elektromágneses spektrum



# Frekvencia tartományok



- LF (Low Frequency) =  
LW (Langwelle) =  
hosszúhullám
- MF (Medium Frequency) =  
MW (Mittelwelle) =  
középhullám
- HF (High Frequency) =  
KW (Kurzwele) =  
rövidhullám
- VHF (Very High Frequency) =  
UKW (Ultrakurzwele) =  
ultrarövidhullám
- UHF (Ultra High Frequency)
- SHF (Super High Frequency)
- EHF (Extra High Frequency)
- UV Ultraibolya fény
- X-ray Röntgensugár

# Frekvencia tartományok rádió kommunikációhoz

- VHF/UHF mobil kommunikáció
  - Problémák az antenna hossza miatt
- SHF irányított antennák, Satellit-kommunikáció
- Vezetéknélküli (Wireless) LAN: UHF-tól SHF-ig
  - Tervben: EHF
- Látható fény
  - Kommunikáció Laser által
- Infravörös
  - TV távirányító
  - Lokális LAN zárt irodákban

## Rádió hullámok terjedési tulajdonságai

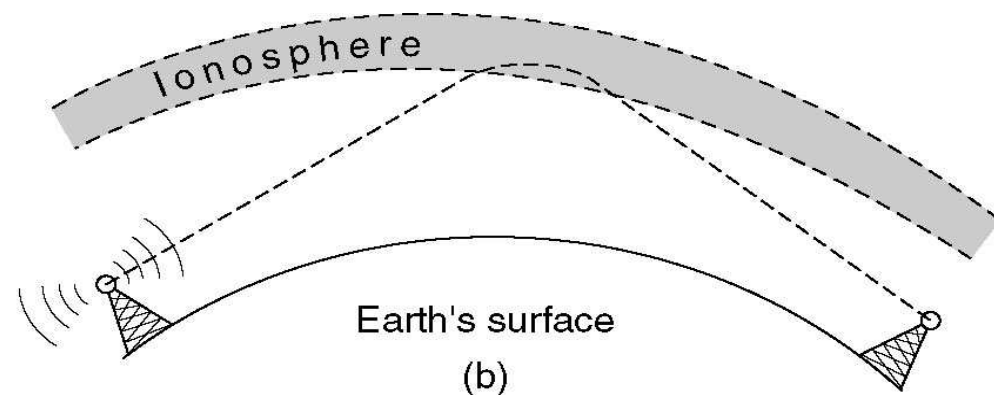
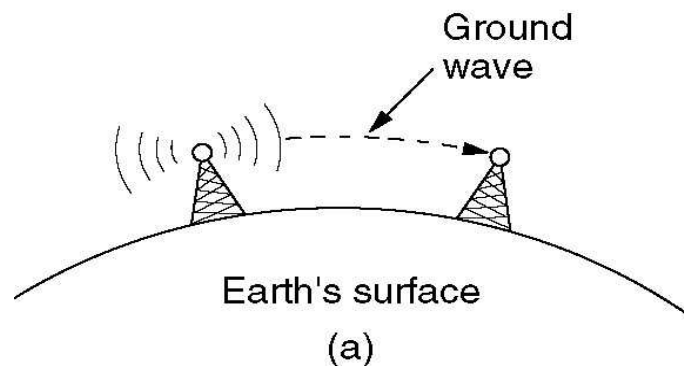
- A vákuumban egyenes vonalon terjed
- Vétel erőssége  $1/d^2$  -tel arányosan csökken (vákuumban)
- A gyakorlatban magasabb kitevő szerint:  $d^4$  vagy  $d^5$
- Korlátok:
  - elnyelődés a levegőben (főleg HF, VHF)
  - árnyékolás
  - tükröződés
  - szóródás kis akadályokon
  - elhajlás az éleknél



# Rádió hullámok terjedési tulajdonságai

- VLF, LF, MF-hullámok
  - követik a föld görbületét (1000 km-ig VLF esetén)
  - áthatolnak az épületeken
- HF, VHF-hullámok
  - a talajban elnyelődnek
  - az ionoszféra által 100-500 km magasan tükröződnek

- 100 MHz fölött
  - a hullámterjedés egyenes vonalú
  - az épületeken alig hatol át
  - jó fókuszálás
- 8 GHz fölött az eső elnyeli



## Rádió hullámok terjedési tulajdonságai

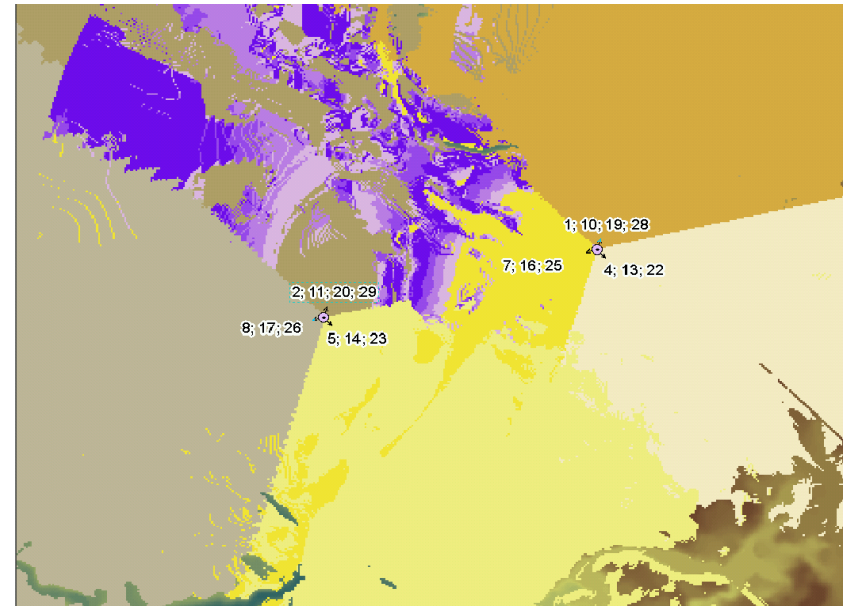
- Több úton terjedés (Multiple Path Fading)
  - A szignál tükröződés, szóródás és elhajlás miatt több úton érkezik meg a fogadóhoz
  - Ez az interferencia időbeli szétszóródásához vezet
    - Hibás dekódolás
    - Szignál gyengülés
- Mobilitásból adódó problémák
  - Rövid idejű megszakadások (Fast Fading)
    - más átviteli hullám
    - Különböző fázishossz
  - A vételi erősség lassú megváltozása (Slow Fading)
    - A küldő és a fogadó közötti távolság csökkenése, növekedése miatt

## A médium többszörös használata

- Tér-multiplexálás (SDM)
  - Az átviteli csatornák párhuzamos és eksklusiv használata
    - Pl. külön vezetékek/cellák/irányított antennák
- Frekvencia-multiplexálás (FDM)
  - Egy frekvenciatartományban több szignált viszünk át
  - Különböző küldőkhöz különböző frekvenciát rendelünk
- Idő-multiplexálás (TDM)
  - Különböző küldők időben eltolva küldik a szignálokat
- Hullámhossz-multiplexálás (WDM)
  - Optikai frekvencia-multiplexálás üvegekábelben való átvitelhez
- Kód-multiplexálás (CDM)
  - Csak mobil kommunikációban (UMTS): A szignálokat ortogonális kódokban kódoljuk, amelyeket egyszerre küldhetünk egy frekvencián
  - Dekódolás átfedés esetén is lehetséges

# Tér

- A tér felosztása (Space-Multiplexing)
  - A távolságból adódó vétel gyengülésének kihasználása különböző cellák párhuzamos működtetéséhez → celluláris hálózatok
  - Irányított antennák használata irányított kommunikációhoz
    - GSM-antennák irányított karakterisztikával
    - Irányított átvitel parabolaantennával
    - Laser kommunikáció
    - Infravörös kommunikáció



# Frekvencia

- A sáv felosztása frekvencia tartományokra (Frequency-Division)
- Csatornák kiterjesztése és „hopping”
  - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
    - XOR a szignálokon egy (magasabb adat rátájú) véletlen bitsorozattal mind a küldő mind a fogadó által (rokon a kódmultiplexálással)
    - Idegen szignálok háttérzajként jelentkeznek
  - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
    - Frekvenciaváltás pseudo-véletlenszámok alapján
    - Két verzió
      - Gyors váltás (fast hopping): átviteli bitenként több frekvenciaváltás
      - Lassú váltás (slow hopping): Több átviteli bit frekvenciánként

# Idő

- Időosztás (Time-Division)
  - A küldő-/fogadócsatorna időbeli felosztása
  - Különböző résztvevők exkluzív időintervallumokat (time slot) kapnak a médiumon
  - Pontos szinkronizáció szükséges
  - Koordináció vagy merev felosztás szükséges

# Kód

- CDMA (Code Division Multiple Access)
  - pl. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- Példa:
  - Résztvevő A
    - 0 : (-1,-1)
    - 1 : (+1,+1)
  - Résztvevő B
    - 0 : (-1,+1)
    - 1 : (+1,-1)
  - A küld 0-t, B küld 1-t:
    - Eredmény: (0,-2)