

Számítógépes Hálózatok 2007

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

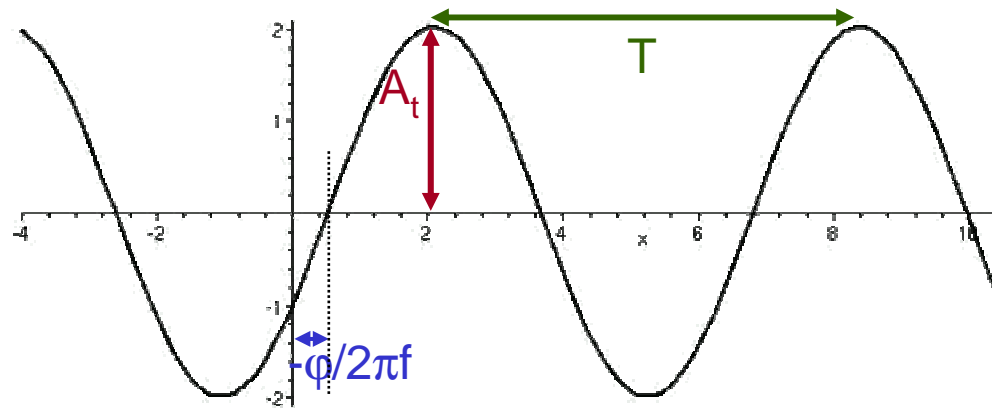
Alapsáv és szélessáv

- 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 ϕ

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



Amplitúdó-moduláció

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

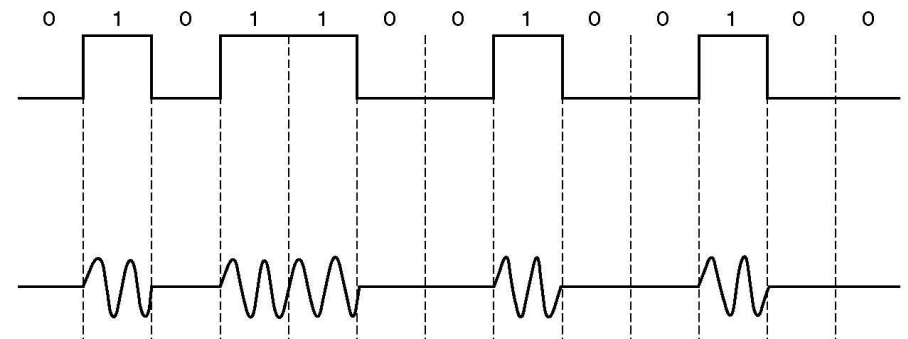
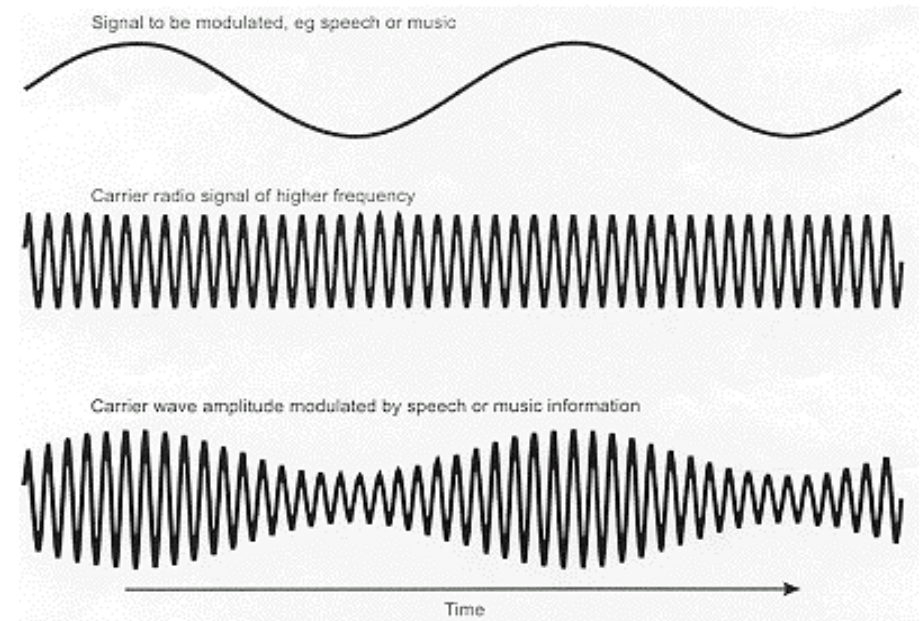
$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi ft + \phi)$$

- 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**

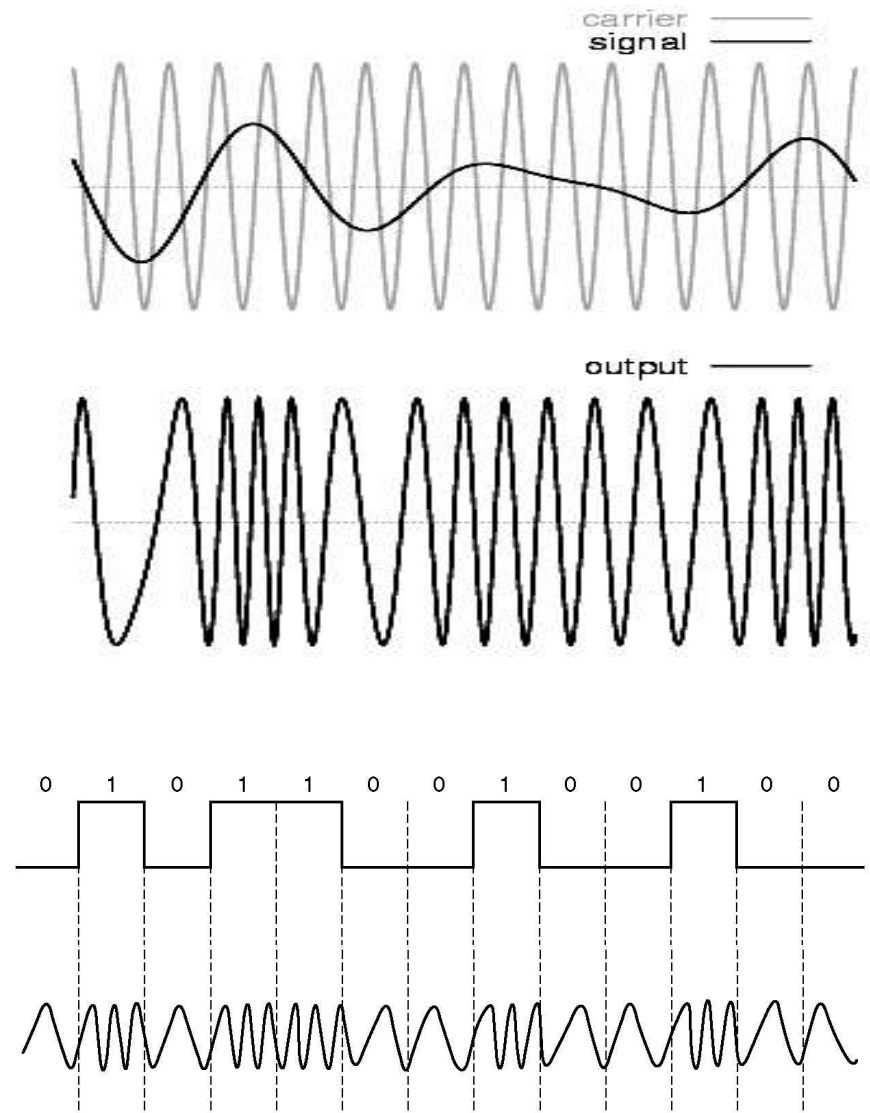


Frekvencia-moduláció

- 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

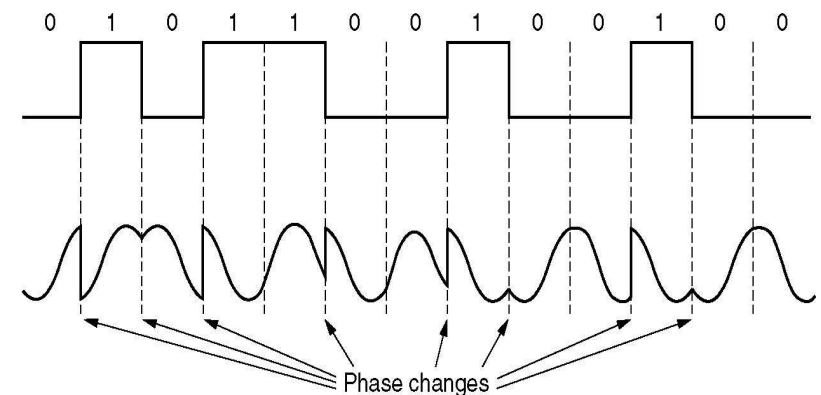
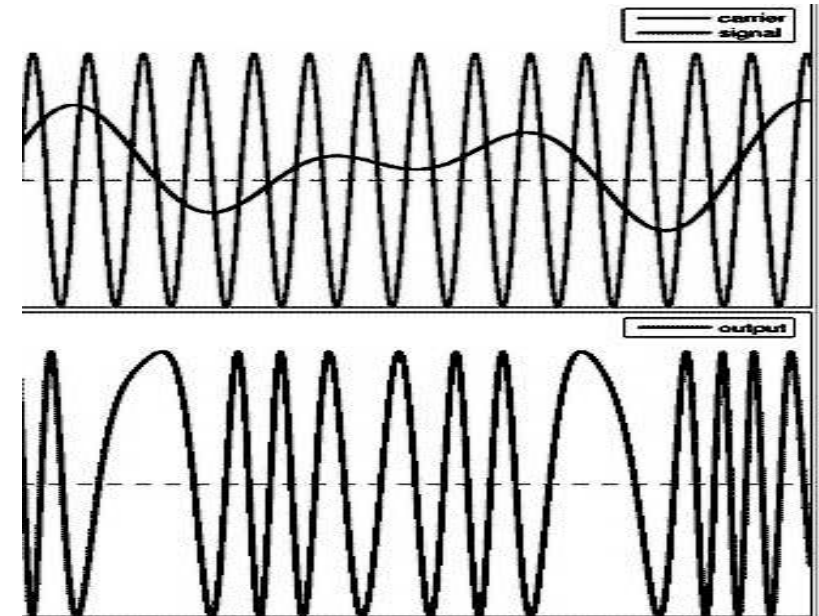


Fázis-moduláció

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

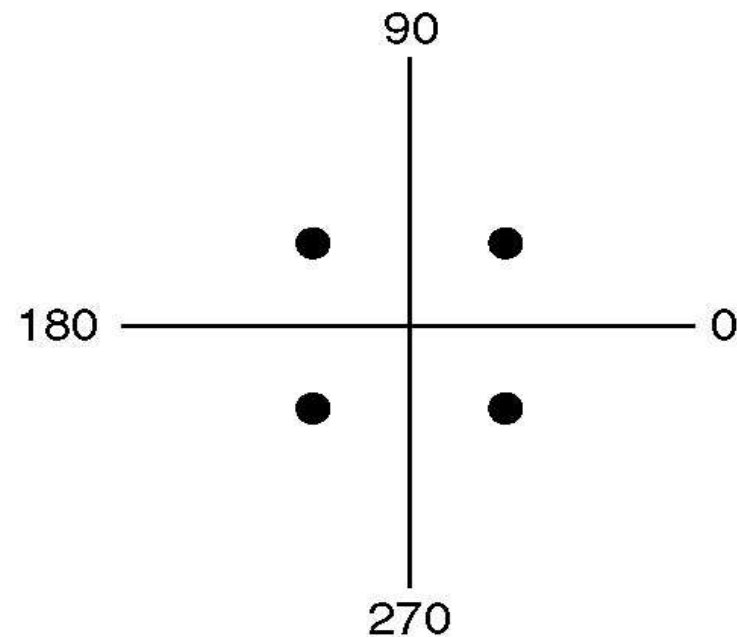
$$f_P(t) = a \sin(2\pi ft + s(t))$$

- 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



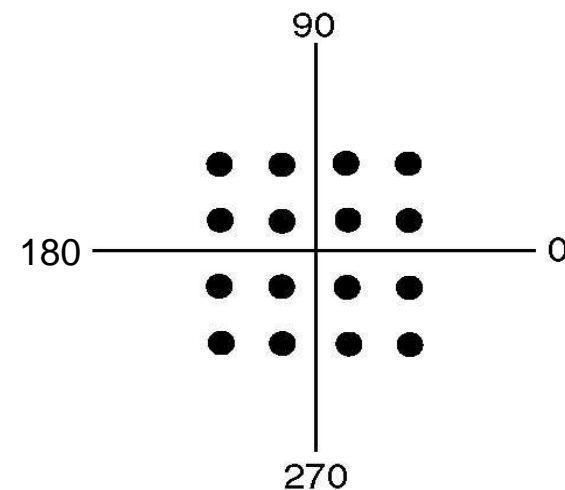
PSK különböző szimbólumokkal

- 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

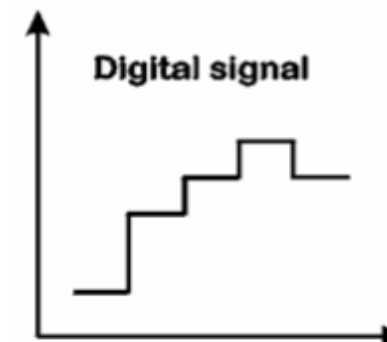
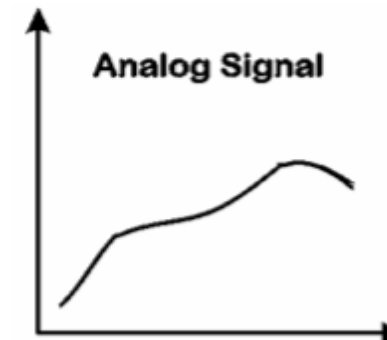
- Diszkrét szignálok véges halmaza
- Pl. feszültség értékek / áramerősség értékek véges halmaza

● 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



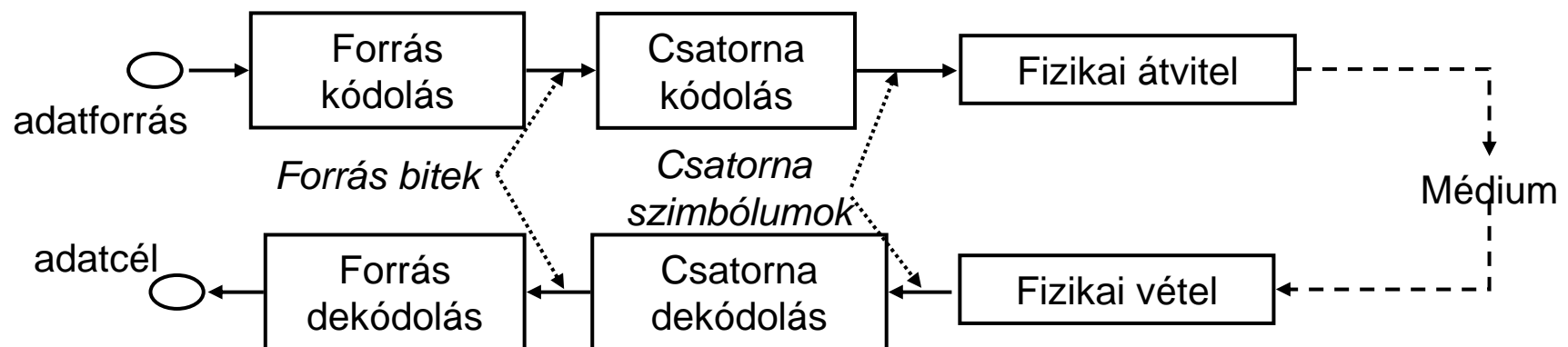
Bithiba gyakoriság és szignál-zaj arány

- 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)

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

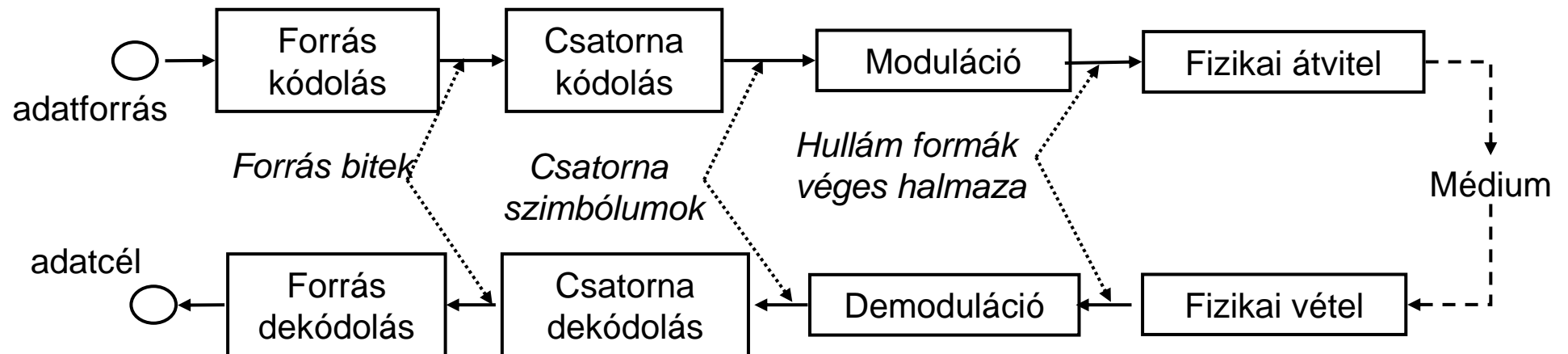
Egy digitális alapsávú átvitel struktúrája

- 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)

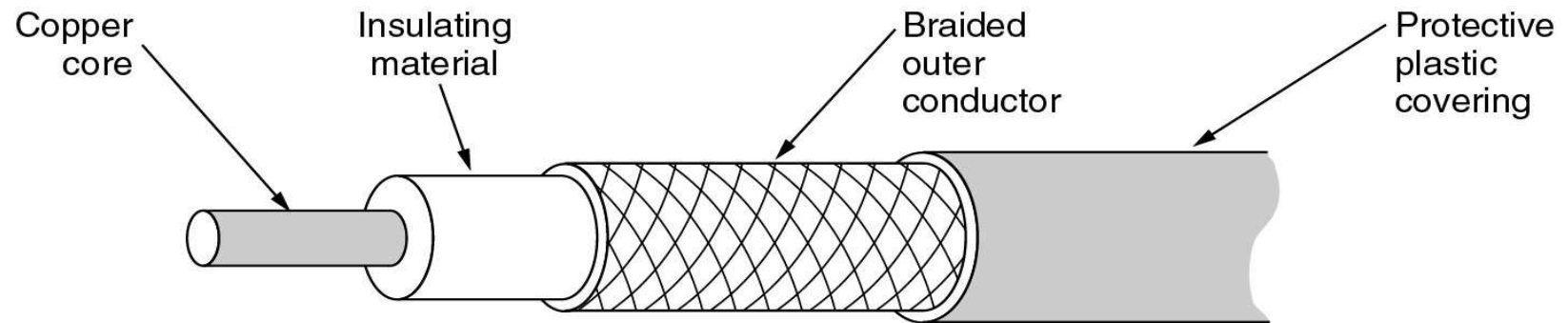


(b)

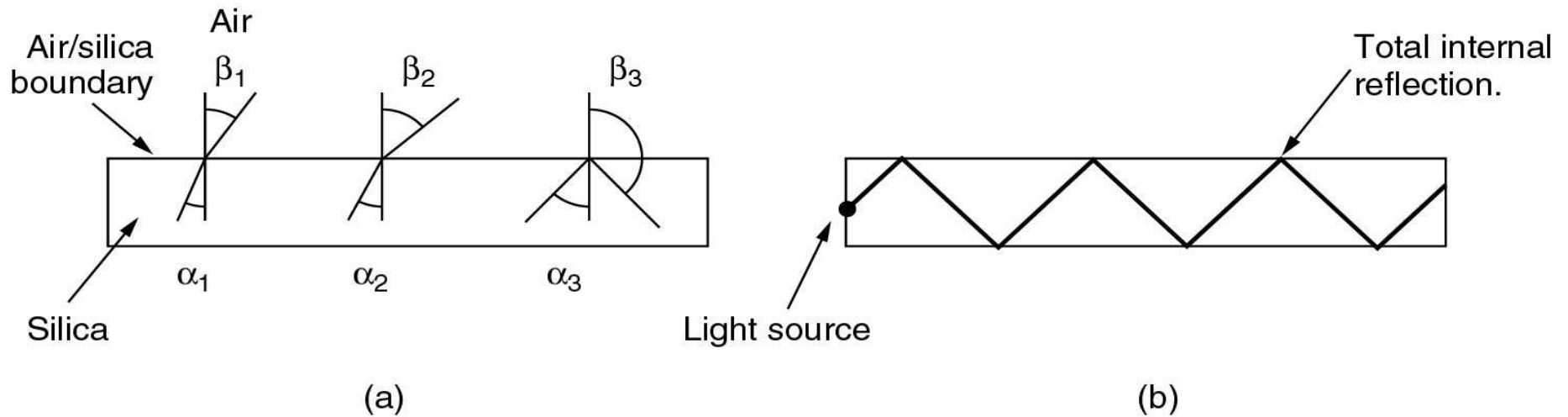
(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

Koaxialkabel



Optikai kábel (üvegszál)

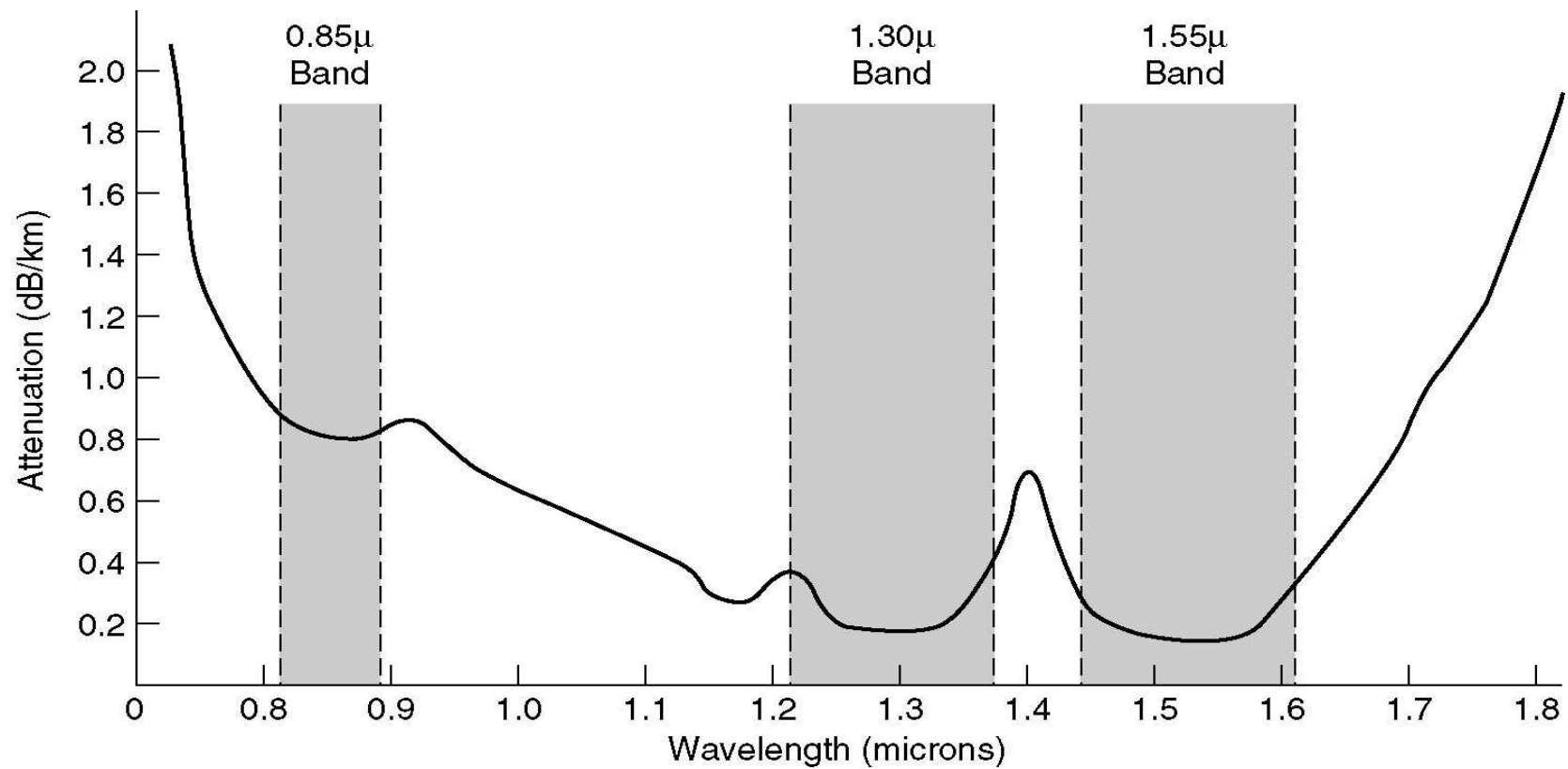


Snellius törvénye:
$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_{\text{üveg}}}{c_{\text{levegő}}}$$

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

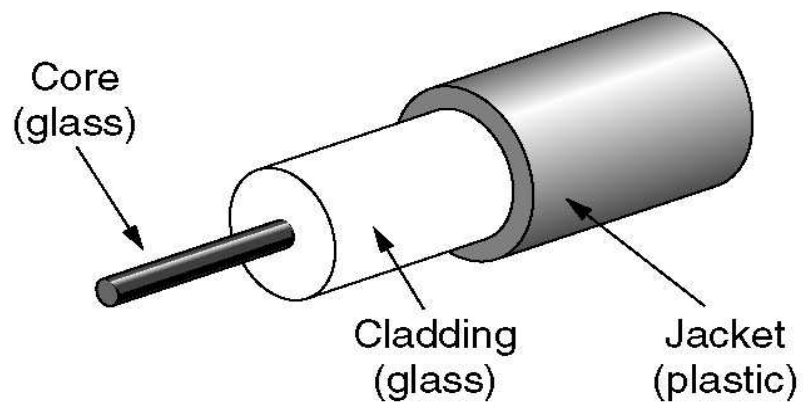
Fény átvitele üvegszálon

Infravörös fény elnyelődése az üvegszálaban

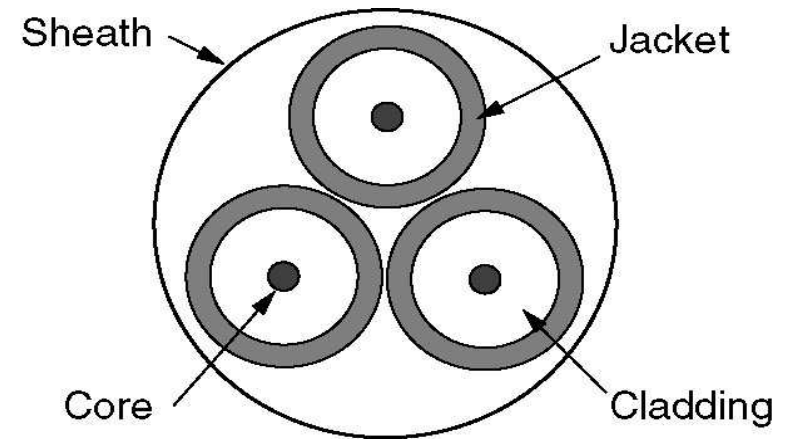


Üvegszál

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



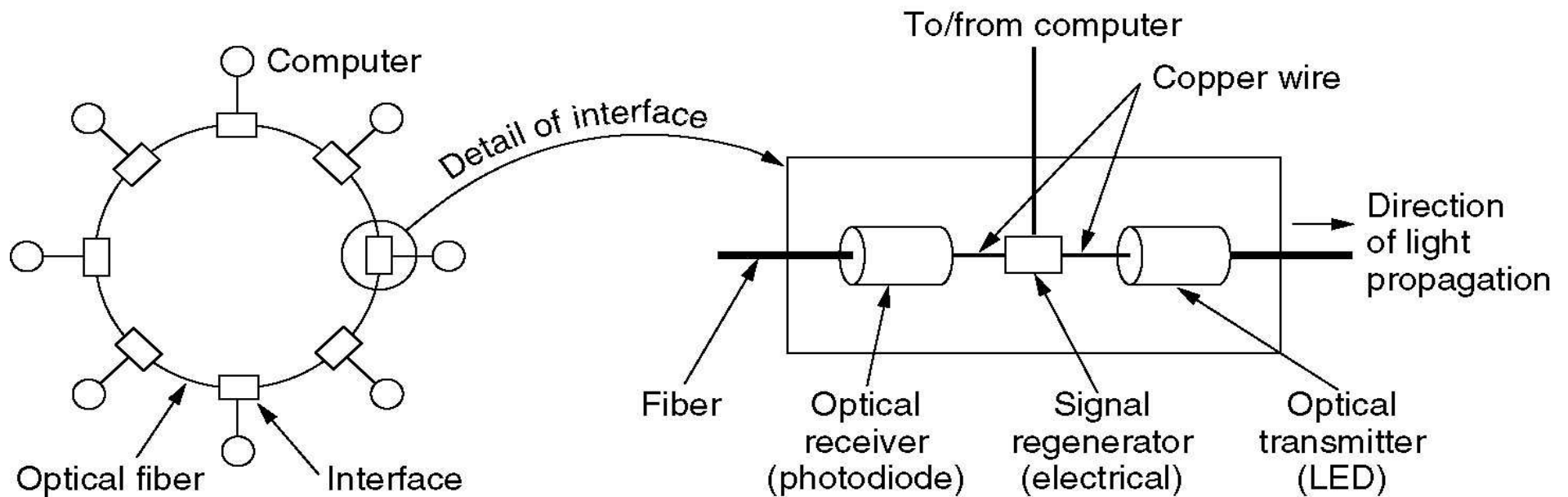
(a)



(b)

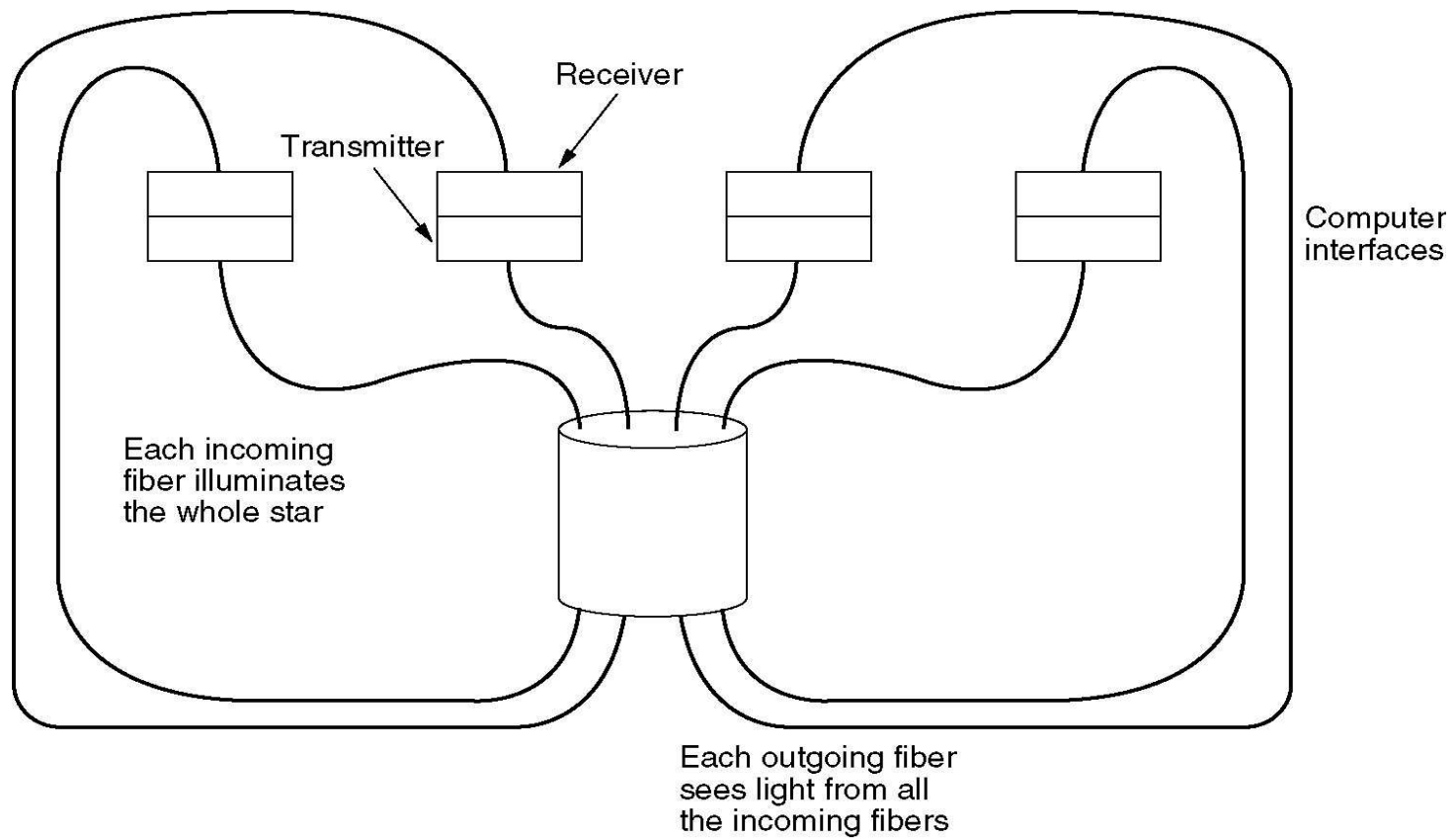
Optikai hálózatok

Üvegszál gyűrű aktív ismétlőkkel (repeater-ekkel)

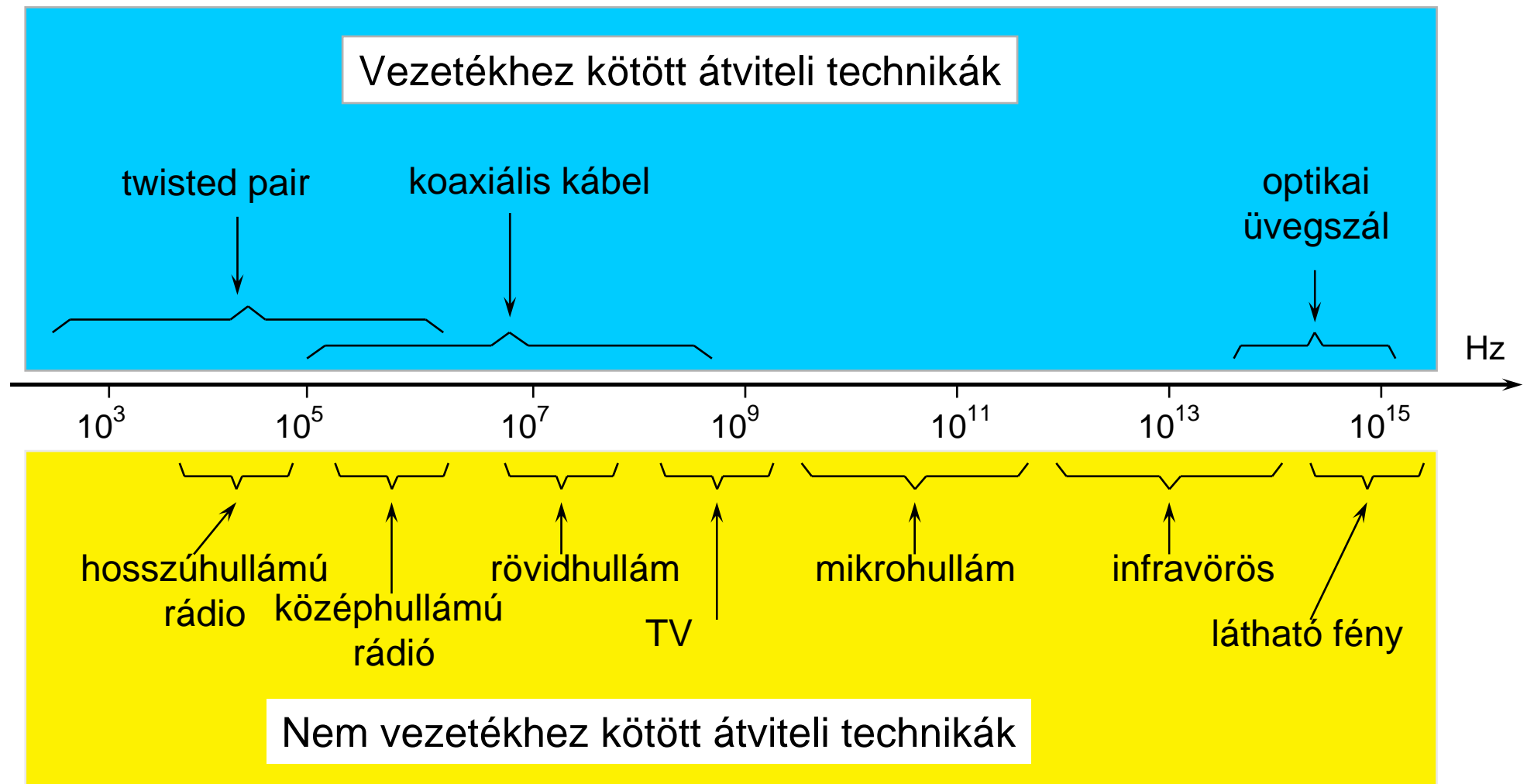


Optikai hálózatok

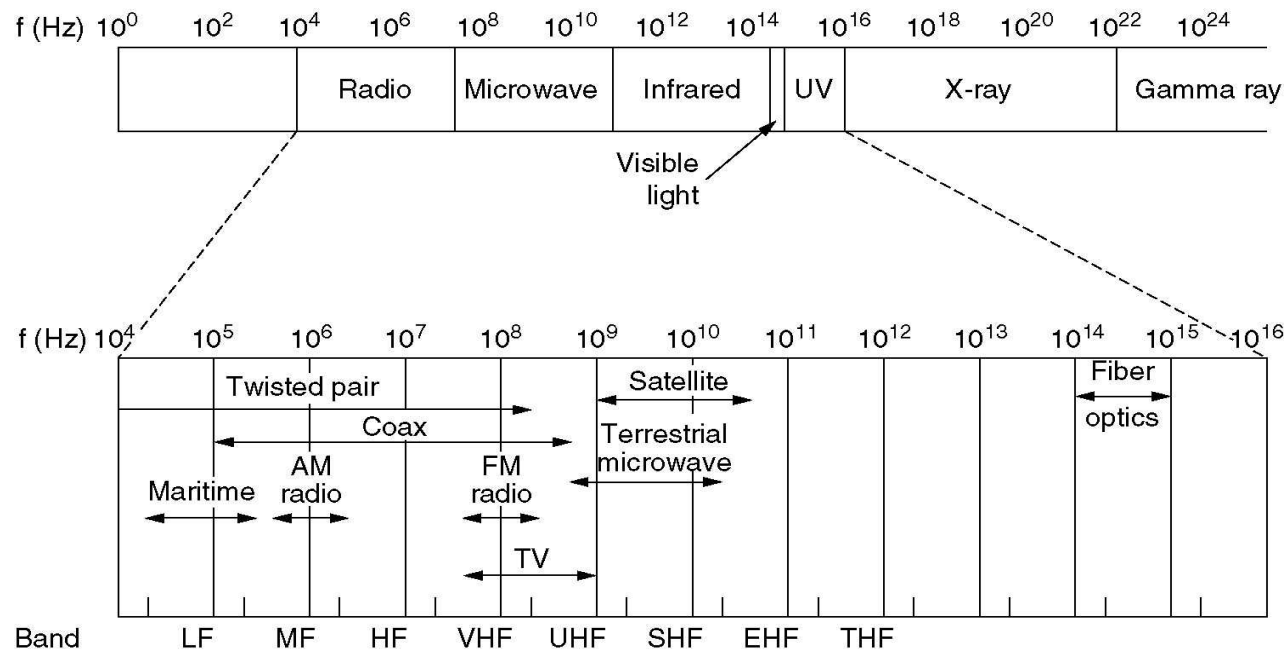
Egy passzív csillagkapcsolat egy optikai hálózatban



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

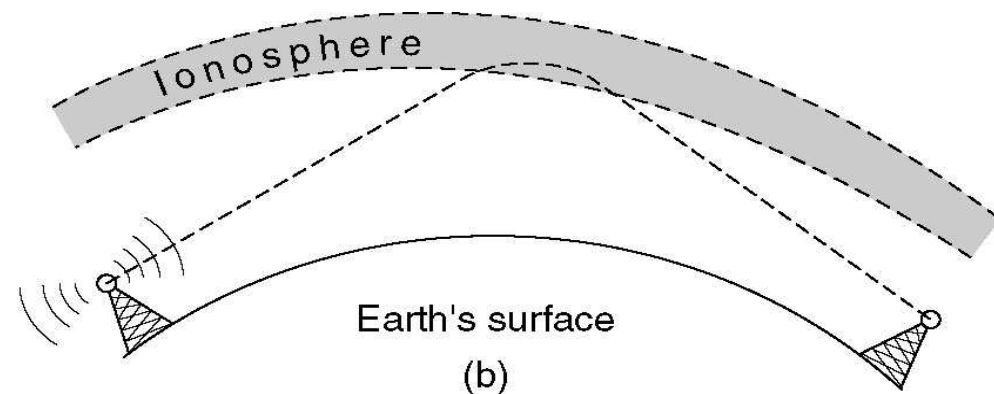
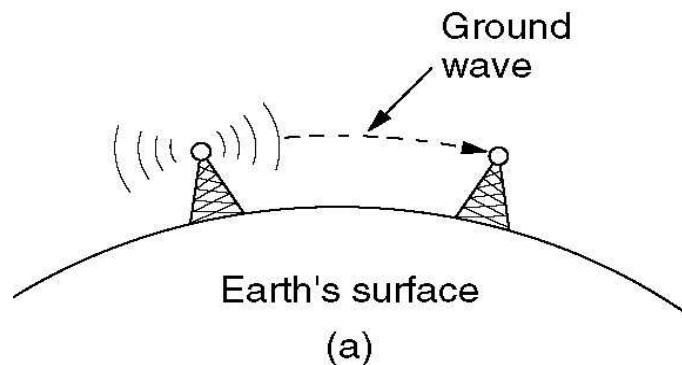
- VHF/UHF mobil kommunikáció
 - Problémák az antenna hossza miatt
- SHF irányított antennák, Satellit-kommunikáció
- Vezetéknélküli (Wireless) LAN: UHF-tól SHF-ig
 - Tervben: EHF
- Látható fény
 - Kommunikáció Laser által
- Infravörös
 - TV távirányító
 - Lokális LAN zárt irodákban

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

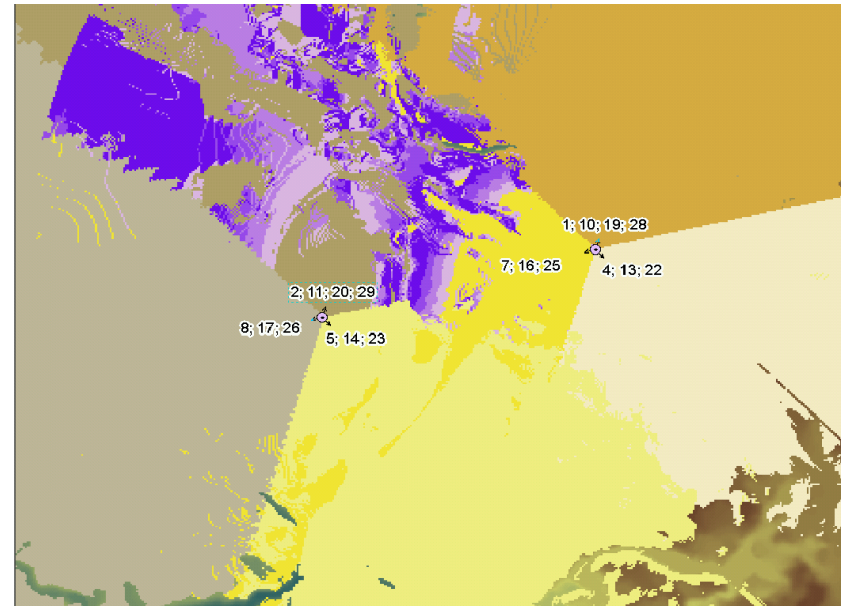
- Több úton terjedés (Multiple Path Fading)
 - A szignál tükröződés, szóródás és elhajlás miatt több úton érkezik meg a fogadóhoz
 - Ez az interferencia időbeli szétszóródásához vezet
 - Hibás dekódolás
 - Szignál gyengülés
- Mobilitásból adódó problémák
 - Rövid idejű megszakadások (Fast Fading)
 - 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)