

Számítógép-hálózatok

A fizikai réteg

2025/2026. tanév, I. félév

Dr. Kovács Szilveszter

E-mail: szilveszter.kovacs@uni-miskolc.hu

www.iit.uni-miskolc.hu/~szkovacs

Informatika Intézet 107/a.

Tel: (46) 565-111 / 21-07

A fizikai közegek

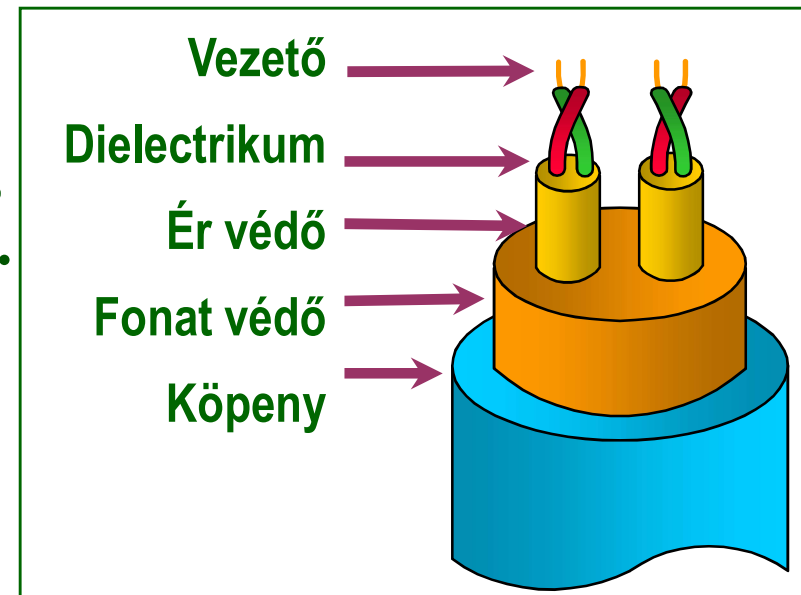
- Az átviteli közegek.
- Céljuk: a nyers bitfolyam szállítása
- Jellemzőik:
 - az elérhető adatátviteli sebesség (jel/zaj viszony alapján a Shannon tételből),
 - a gyakorlatban külön kezeljük
 - alapsávú impulzus átvitel
 - szélessávú (modulációs) átvitel.
 - A jelfrissítés nélkül áthidalható maximális távolság,
 - a zavarvédetség,
 - megbízhatóság (mechanikai tulajdonságok),
 - üzenetszórásra, pont-pont átvitelre, esetleg mindkettőre való alkalmasság,
 - ár, költségek.

Az átviteli közeg

- **Fémes vezetők (elektromos áram) (Copper)**
 - Sodrott érpár
 - Koaxiális kábel
- **Fényvezetők (fényhullámok)**
 - Üveg, műanyag (fibre optic)
- **Vezetéknélküli átvitel (elektromágneses hullámok)**
 - mikrohullám,
 - műholdas,
 - optikai infravörös, lézeres stb.

Sodrott érpár

- Elsősorban pont-pont kapcsolatra.
- Telefondrót
 - Közeli központig (2-4 Km), modulált átvitel,
 - néhány Mbps (pl E1: 2,048 Mbps (32*64)),
 - közepes zavarvédelem és megbízhatóság,
 - olcsó megoldás.
 - Sodrás: nem sodrott vezetők „keretantennák”; a sodrott kiegyenlítettebb.

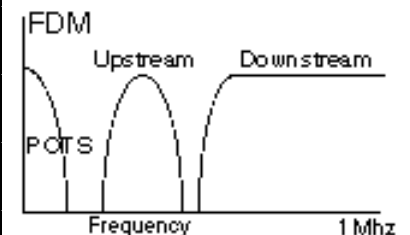


Sodrott érpár

- **xDSL (Digital Subscriber Line)**
- **High Data-Rate Digital Subscriber Line (HDSL)**
 - Két érpáron T1/E1 kb. 3.6 km-re.
- **Single-Line Digital Subscriber Line (SDSL)**
 - Egyetlen érpáron T1/E1 kb. 3 km-re.
- **Very high bit-rate Digital Subscriber Line (VDSL)**
 - VDSL2 300Mbps 300-400m
- **Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)**
 - **Aszimmetrikus** (downstream és egy duplex csatorna):
1.5 - 2.0 Mbps downstream és egy 16 kbps duplex csatorna, vagy
6.1 Mbps downstream és 64 kbps duplex, napjainkban
8 Mbps downstream és 640 kbps duplex.
ADSL2+ 24 Mbps downstream

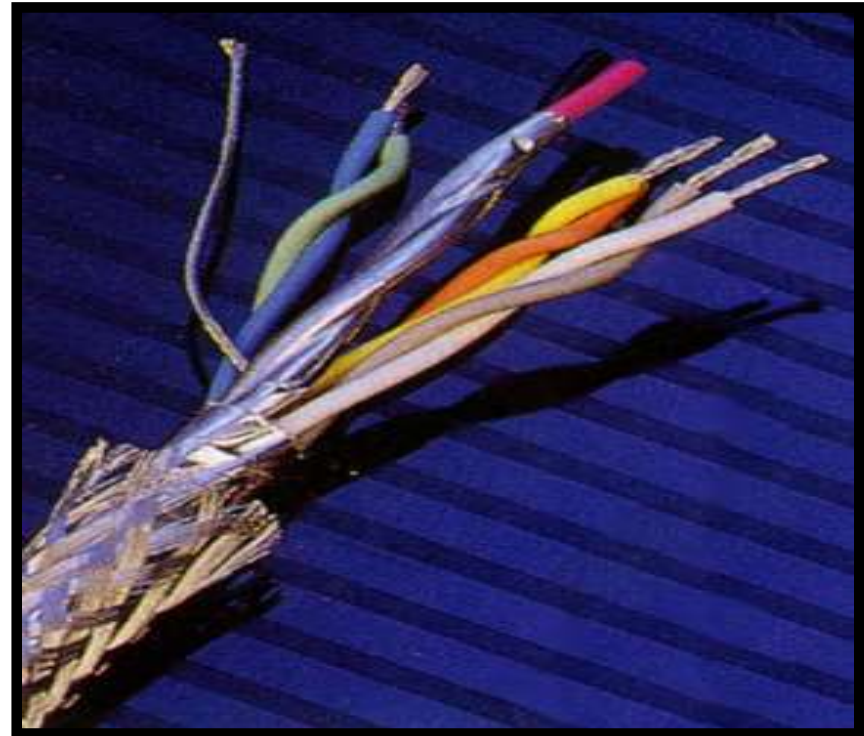


Sebesség	Vezeték vastagság	Távolság
1.5 or 2 Mbps	0.5 mm	5.5 km
1.5 or 2 Mbps	0.4 mm	4.6 km
6.1 Mbps	0.5 mm	3.7 km
6.1 Mbps	0.4 mm	2.7 km



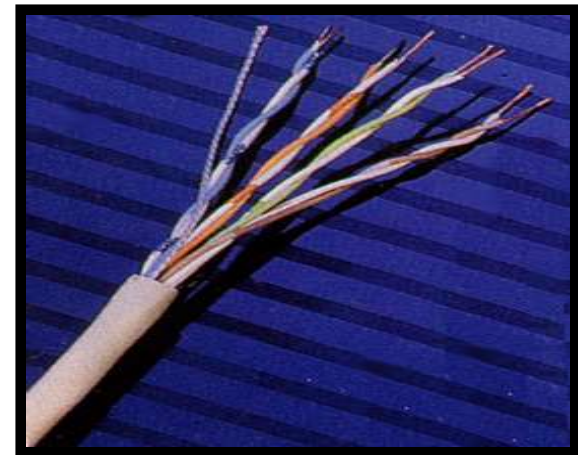
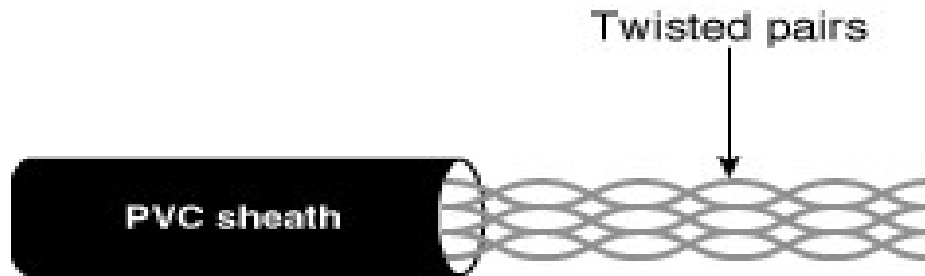
STP

- **STP (Shielded TP) árnyékolt csavart érpár**
 - **Árnyékolás (csökkenti az interferenciát, áthallást)**
 - jó zavarvédetség,
 - jó megbízhatóság
 - **4 vezeték (adás/vétel)**
 - **Valamivel drágább**
 - **Vastagabb kötegek**
 - **1Gbps max. 25m (1000BaseCX)**



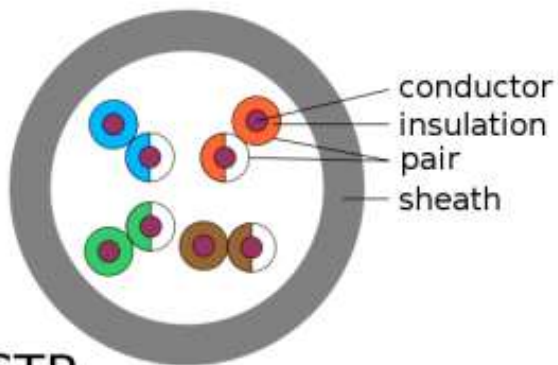
UTP

- **UTP (Unshielded Twisted Pair) árnyékolatlan csavart érpár**
 - Közepes zavarvédetség és megbízhatóság
 - Valamivel olcsóbb, könnyű szerelni
 - Tipikus 10/100(/1000)BaseT Ethernet kábelezéshez
 - 4 vezeték, adás és vétel ág,
 - max 100 m, alapsávú impulzusátvitel

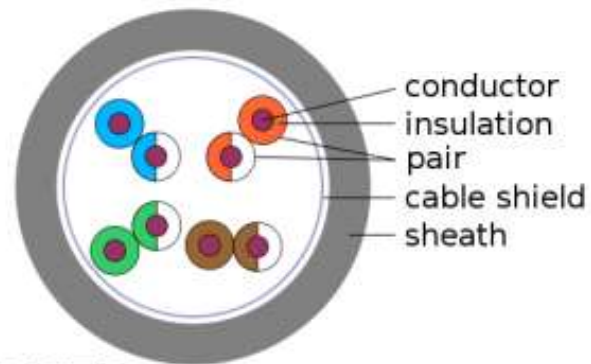


STP-UTP

UTP



S/UTP

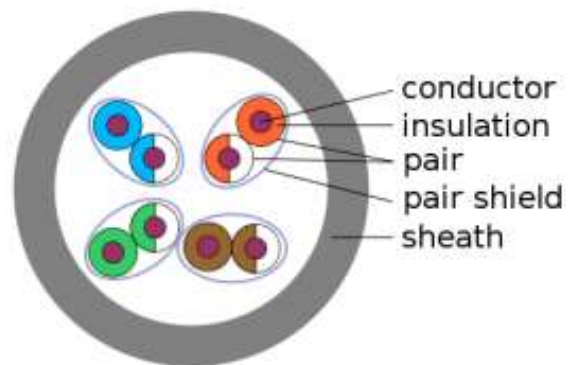


UTP

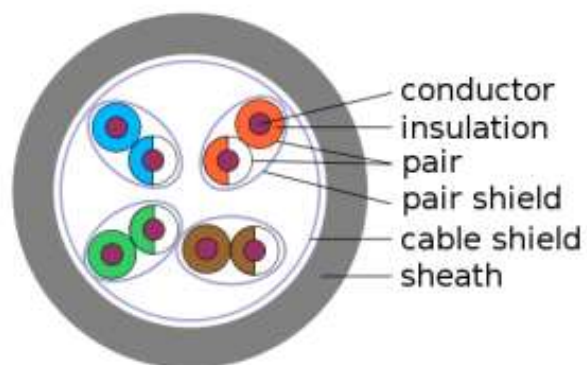
STP



STP

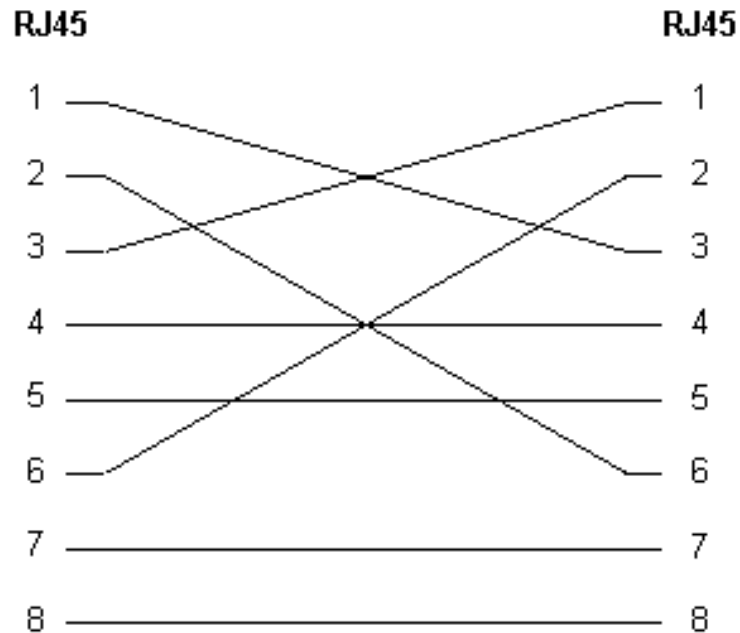


S/STP



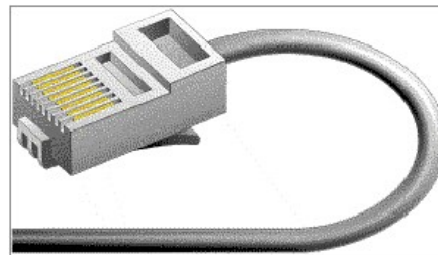
UTP

- RJ45 pinouts for 100BaseT**



RJ45 Pin	Function	Colour
1	Transmit	White/Orange
2	Transmit	Orange/White
3	Receive	White/Green
4		Blue/White
5		White/Blue
6	Receive	Green/White
7		White/Brown
8		Brown/White

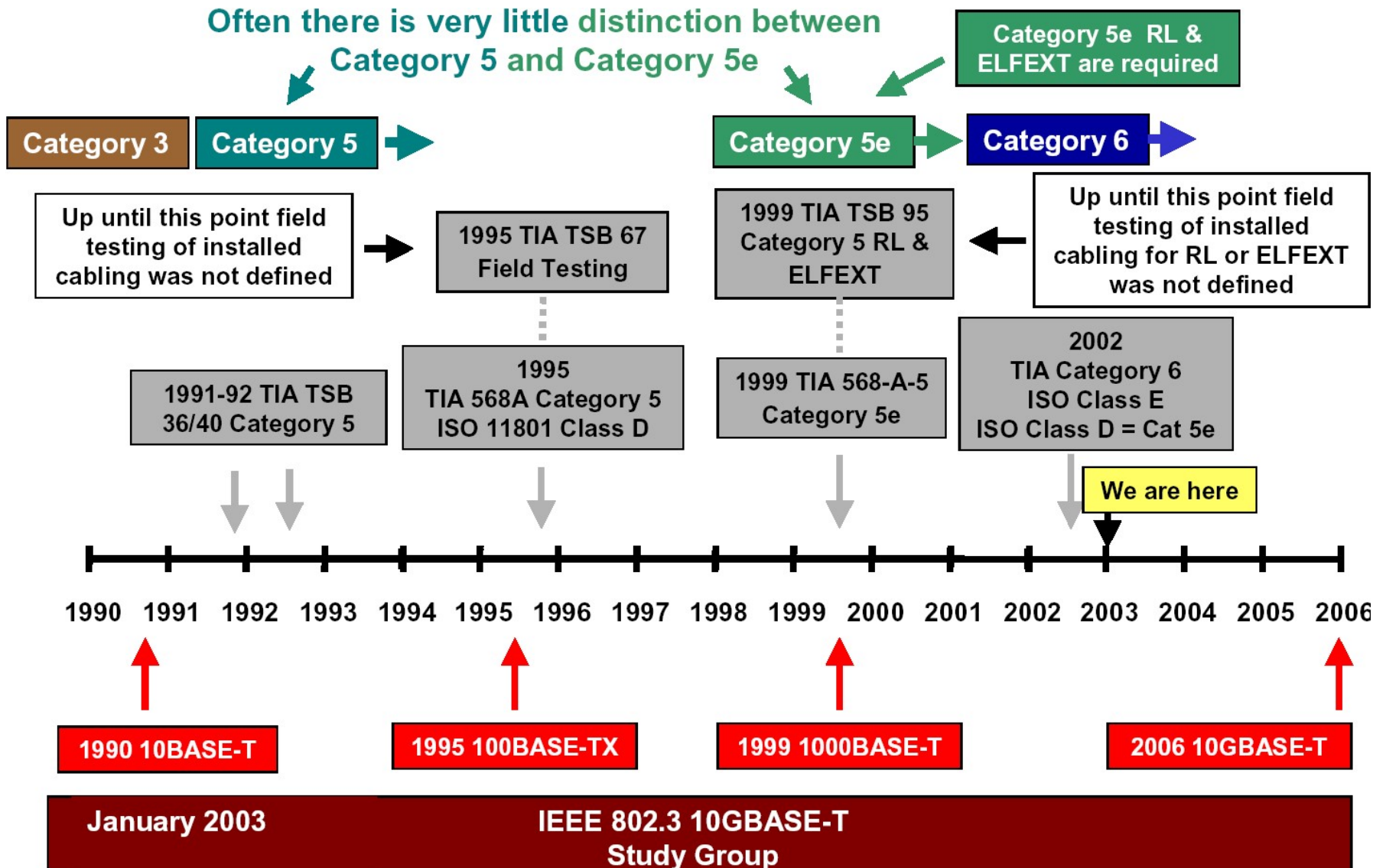
10BaseT Crossover



UTP kategóriák

- **Category 1: hangátvitel, 2Mbps**
- **Category 2: adatátvitel, 4Mbps**
- **Category 3: adatátvitel, 10BaseT (10Mbps), 4Mbps IBM Token Ring, 16 MHz, (100BaseT4) TIA/EIA 568-A szabvány**
- **Category 4: adatátvitel, 10BaseT, 16Mbps IBM Token Ring, 20 MHz , (100BaseT4)**
- **Category 5: napjainkban a legelterjedtebb. 100BaseTX, (1000BaseT) (3-4 csavarás/inch) ANSI/TIA/EIA-568-B.1 és 568-B.2. szabvány**

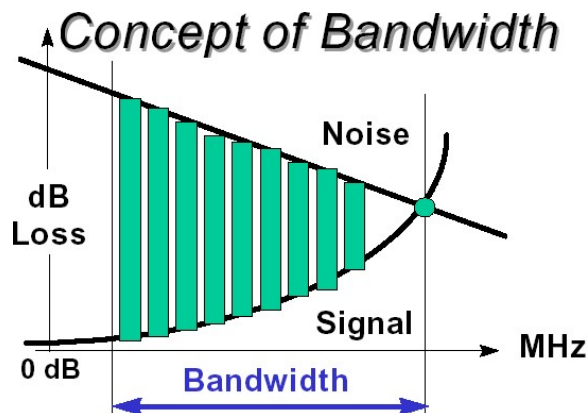
UTP kategóriák



UTP kategóriák

- Category 1-5: csillapítások, áthallások

Frequency (MHz)	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150 Ω STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150 Ω STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	42	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3



Shannon: $\text{MaxSeb} = H \cdot \log_2(1+S/N)$

Cat5: max. 600Mbps a legrosszabb esetben k.b.

Cat5 - 1000BaseT ?

→ 4 érpár duál duplex és

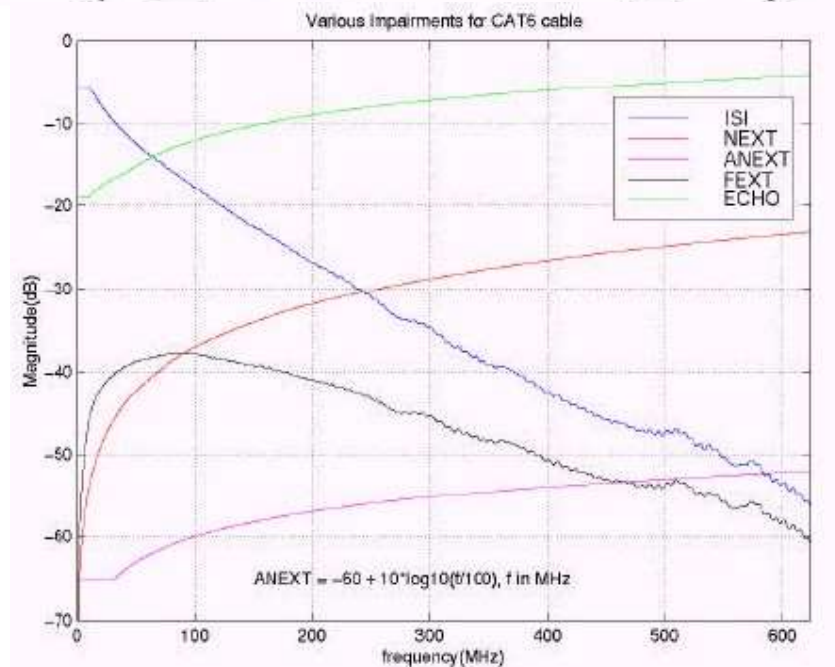
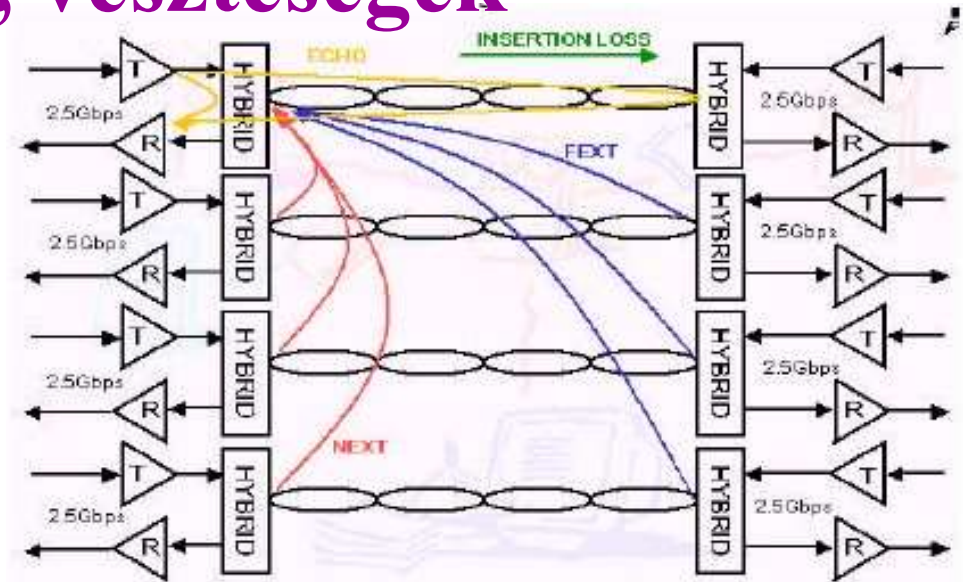
5 szintű Pulzus Amplitudó Moduláció

UTP zajok, veszteségek

- Insertions loss (attenuation)
- Return loss (echo)

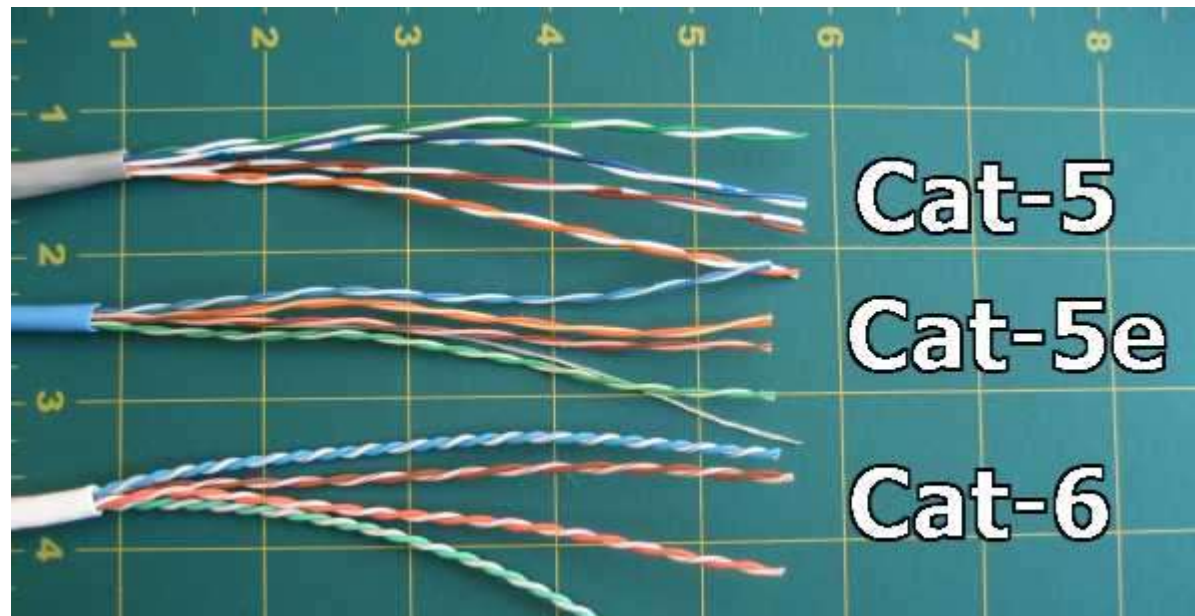
Crosstalk:

- Caused by the interactions of different wire-pairs inside the same cable:
 - Near-end crosstalk (NEXT)
 - Far-end crosstalk (FEXT)
- Caused by other unrelated cables:
 - Alien cross talk (ANEXT)



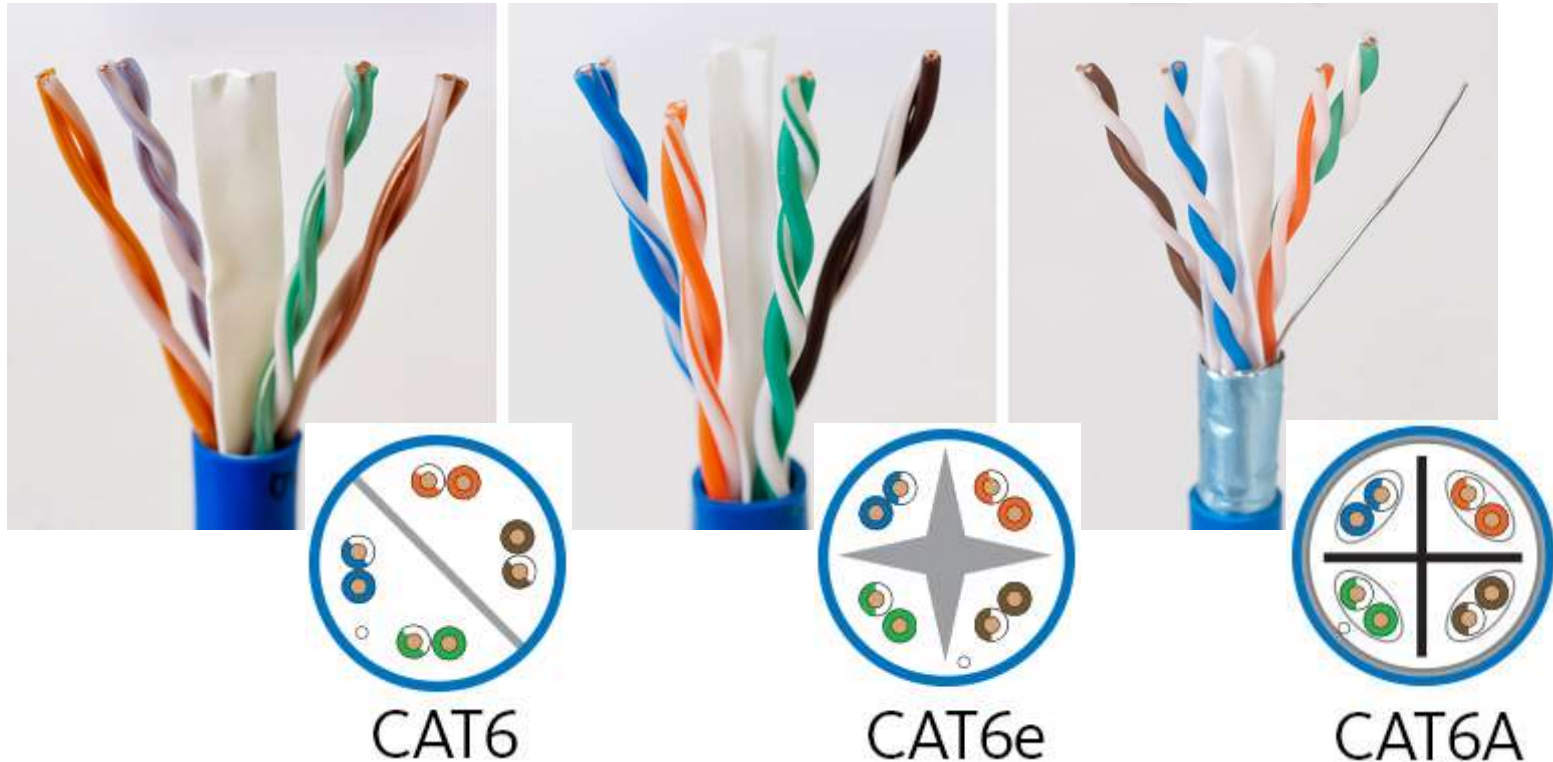
UTP kategóriák

- Category 5, 5e, 6,



UTP kategóriák

- Category 6, 6e, 6A



10GBASE-T 802.3an-2006 (64B65B PAM-16 128-DSQ)

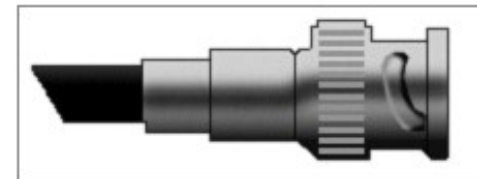
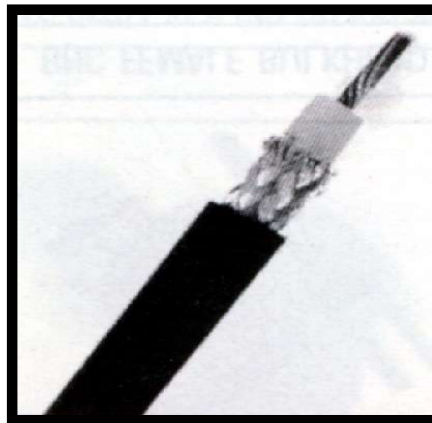
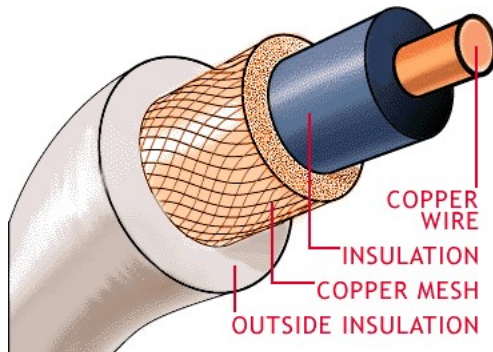
100m Cat 6A, 55m Cat 5e, Cat 6

2.5GBASE-T, 5GBASE-T IEEE 802.3bz-2016, NBASE-T, MGBASE-T

100m Cat 5e, Cat 6

Koaxiális kábel

- Mind pont-pont, mind üzenetszórásra alkalmas
- Tipikus LAN alkalmazás
Ethernet - üzenetszórásos
 - 10Base5 Vastag Ethernet („Vámpír” csatlakozó)
 - 10Base2 vékony Ethernet
- Felépítés
 - rézmag, szigetelő dielektrikum, fonott külső vezető, műanyag burok



Koaxiális kábelek

- **Tipikus hullámimpedanciák:**
 - 50 : adat és rádiós kábel
 - 75 : TV koaxiális kábel
 - 93 : ARCNET kábel (Novell)
- **Alapsávú átvitel esetén: 10 Mbps (Ethernet):**
 - 500 m: vastag koax,
 - 187 m: thin koax.
- **Moduláltan: kb 150 Mbps, 100Km távolságig**
 - Kábeltelevízió használja a moduláltat
 - műsorszórás (kb 6 MHz csatornákon, az erősítők egyirányúak) (DVB-C modulációs szabvány 8 MHz)
 - Számítógép kapcsolat
 - Külön visszautat építenek ki. Speciális modem, külön frekvencián ad-vesz
 - Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)
 - DOCSIS 1.0 (1997) Down: 40 Mbit/s Up: 10 Mbit/s
 - DOCSIS 3.1 Full Duplex (2017) Down: 10 Gbit/s Up: 10 Gbit/s

Koaxiális kábel

- **A koaxiális kábel (1 ponton földelni)
jó zavarvédetségű, jó megbízhatóságú.**
- **Közepesen drága**
 - (a vékony Ethernet olcsóbb, mint az UTP).
- **Üzenetszórásos csatorna (busz) kialakítása
koaxiális kábelen:**
 - Egyetlen tápvezeték, a végein hullámimpedanciával lezárva.
 - Nagyimpedanciás csatlakozások (transzciever: adó-
vevő), feszültségfigyelés, áramgenerátoros hajtás.
 - T dugó, vagy rászűrhető, „vámpr” csatlakozás
(működés közben is csatlakozható/bontható)

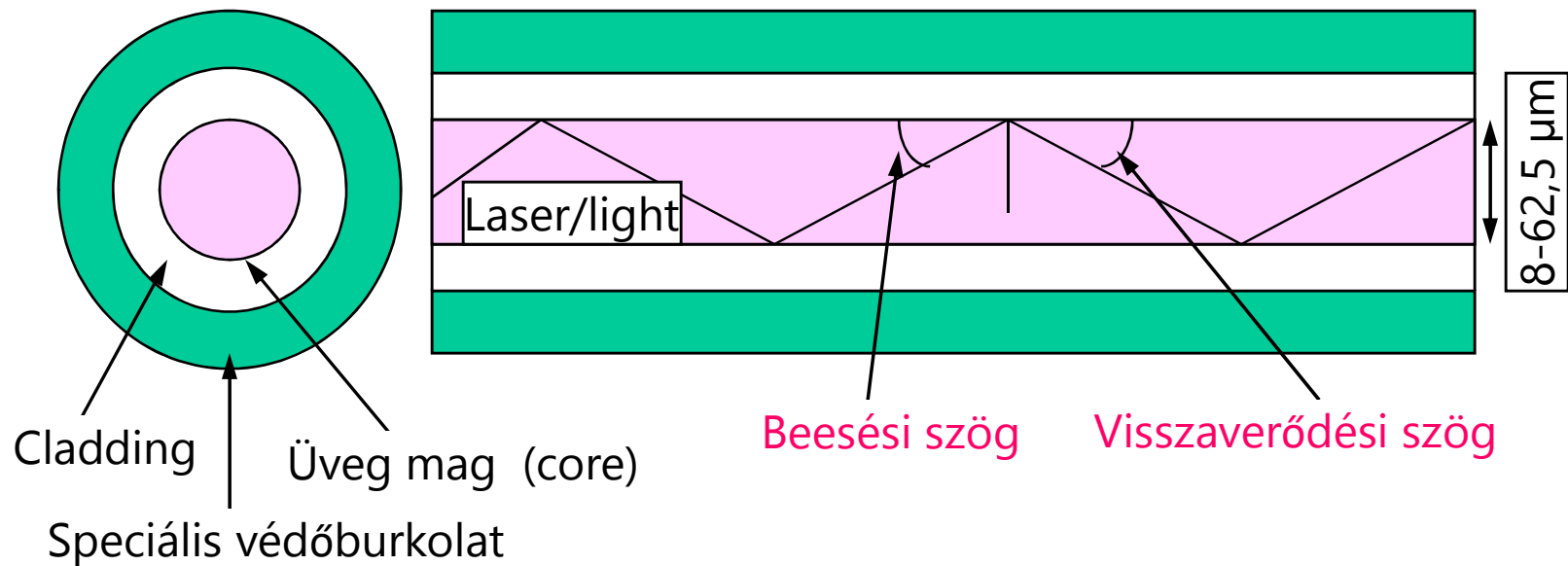
Optikai kábel

- Vékony üveg szál (szilikát), fényhullámokat “vezet”
- Kiváló zavarvédetség, jó megbízhatóság.
- Jelenleg kb. max. 400 Gbps 80km táv (DWDM)
- Tipikusan pont-pont kapcsolatokra.
- Magas költségek (csatlakozások, toldások, adók/vevők).
 - Csatlakozók: SMA: csavaros; ST bajonett; MIC: FDDI dupla, SC dugó



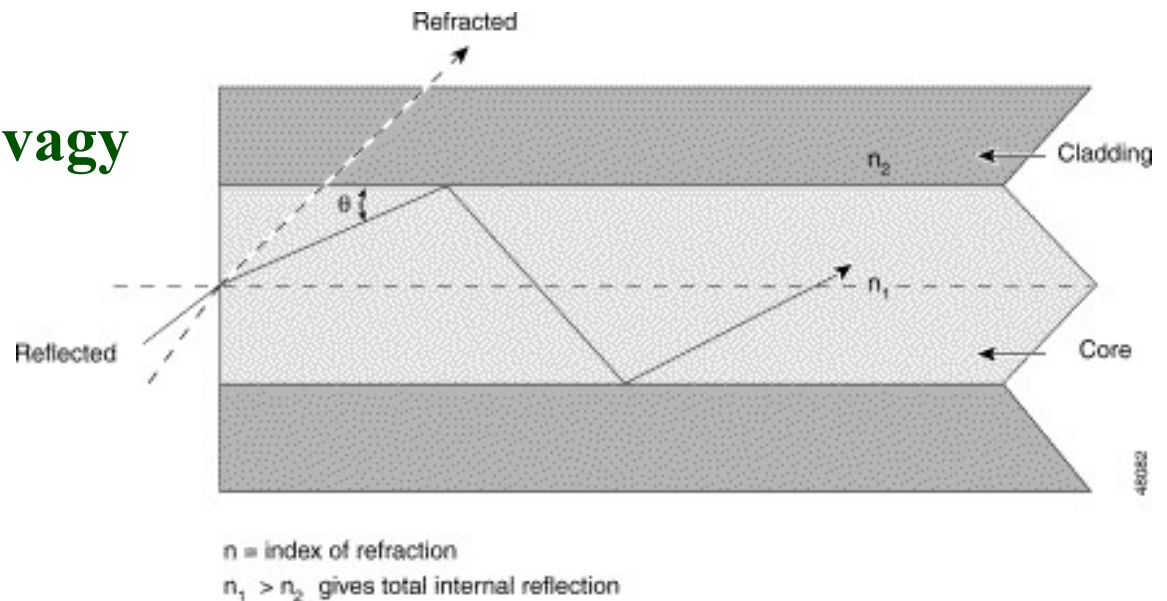
Az optikai kábel

- **Mag (magasabb törésmutató), magátmérő: 9-50-62,5 μ m**
- **alacsonyabb törésmutató kívül (clad) (tipikus átm: 125 μ m).**



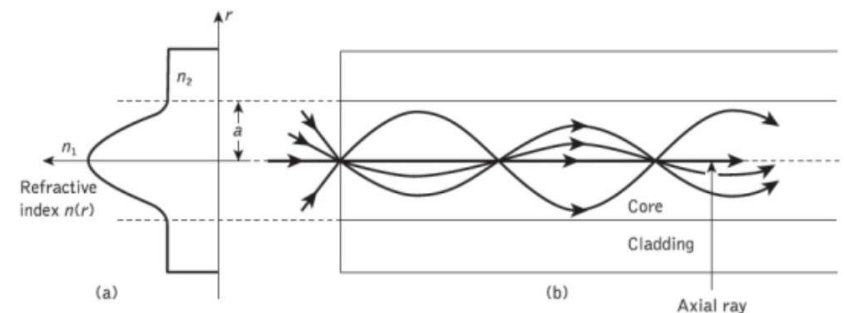
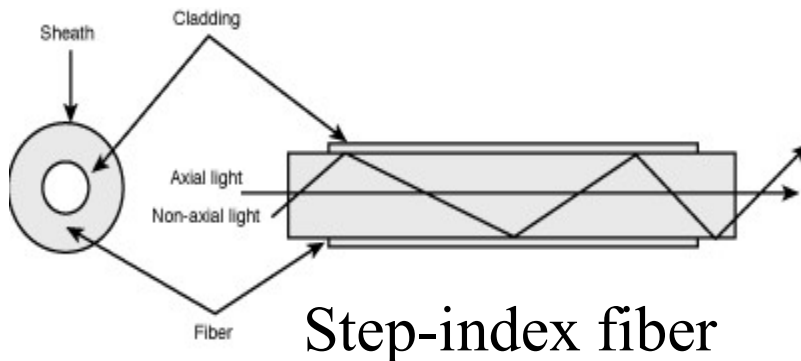
Fénykábelek

- A fény a „kritikus szög” alatt visszaverődik, fölötte: elnyelődik
- Látható fény frekvencia: közel 10^{14} MHz: potenciálisan óriási sáv szélesség!
- A fénycsőhossz és a magatér mértékétől függően lehet
 - Multimódusú, vagy
 - Monomódusú.



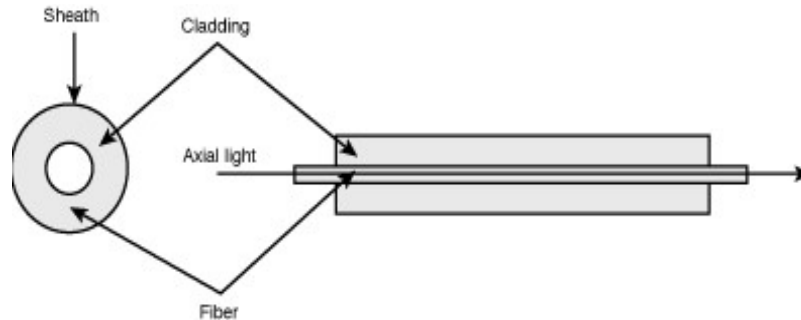
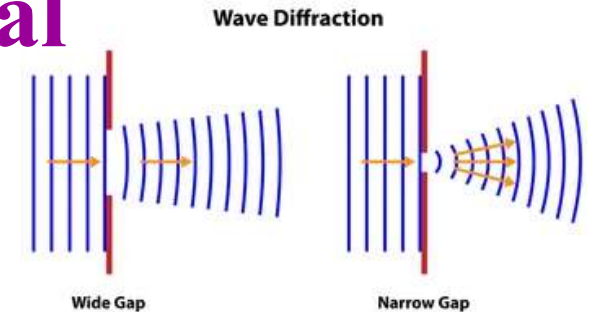
Multimódusú szál

- **Magátmérő > fényhullámhossz**
 - A fény a határfelületeken visszaverődve halad,
 - Különböző úthosszakkal haladhat benne a fény, nem egyszerre érkezik (modal dispersion).
 - Szokásosan az adó: LED (Light Emitting Diode), vörös látható (hullámhossz: 850 nm), a vevő fotodióda/tranzisztor.
 - Áthidalható < 10Km, opt. Ethernet 2 Km, FDDI
 - Adatátviteli sebesség: nagyjából < 10 Gbps

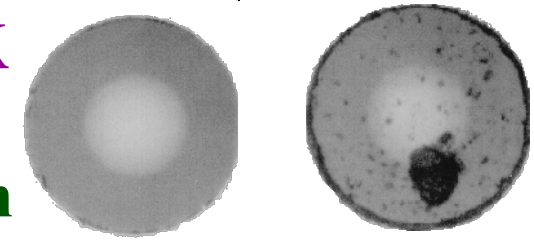


Monomódusú szál

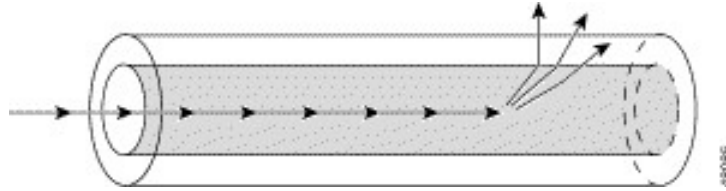
- Magátmérő $\cong$ fény hullámhossz
 - Diffrakció: a fény „elhajlik” a szálal.
 - Az adó félvezető lézer, infravörös 1300nm (1310nm, 1550nm) hullámhossz, a mag átmérője $9\mu\text{m}$
 - kisebb csillapítás, nagyobb áthidalható távolság, kb. 100 Km.
 - Gyors, az adatátviteli sebesség $< 10\text{Gbps}$ (eszközfüggően több is lehet).



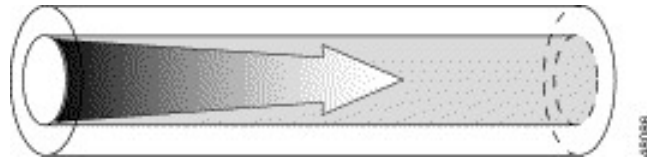
Optikai veszteségek



- **Rayleigh szóródás: az atomi üveghibákon**



- **Abszorpció: elnyelődés**

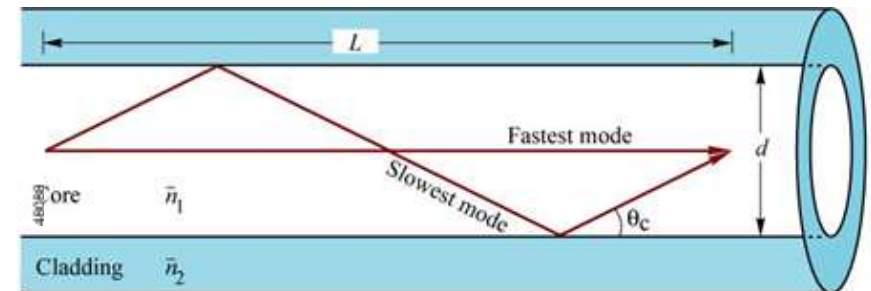
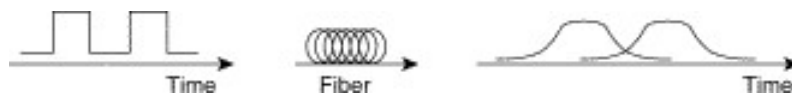


TIA/EIA-568A max.csillapítás	WaveLength	Max Attenuation (dB/Km)
Multi-Mode	850	3.75
Multi-Mode	1300	1.5
Single-Mode	1300	0.5

Toldás (hideg/meleg): 0.3 – 1 dB

Csatlakozó: 0.5 – 2 dB

- **Modális Diszperzió: szétszóródás**
útkülönbség

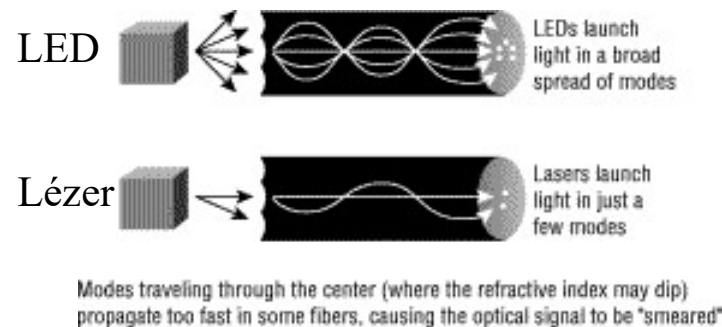


Step-index Fibre

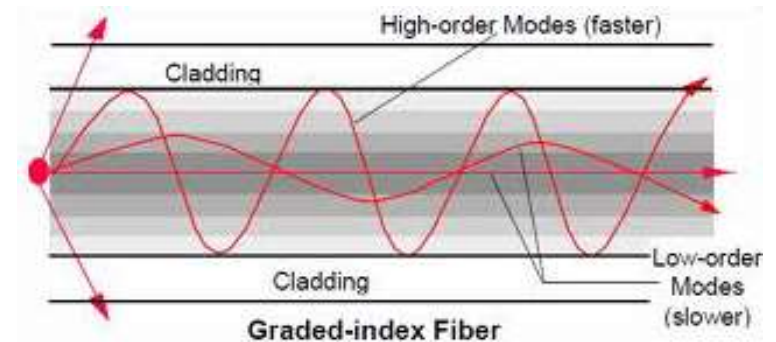
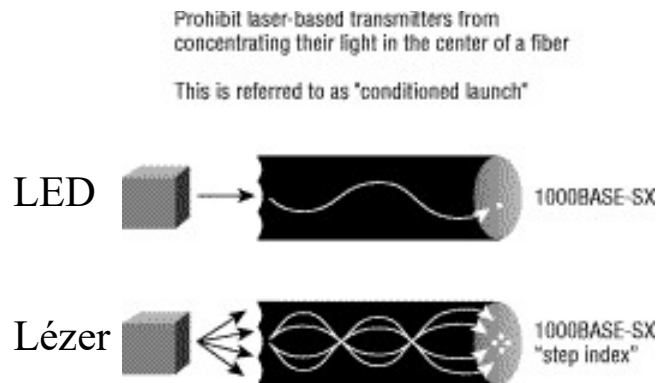
- **Chromatic Dispersion:**
a különböző frekvenciájú összetevők
más sebességgel terjednek

Optikai veszteségek

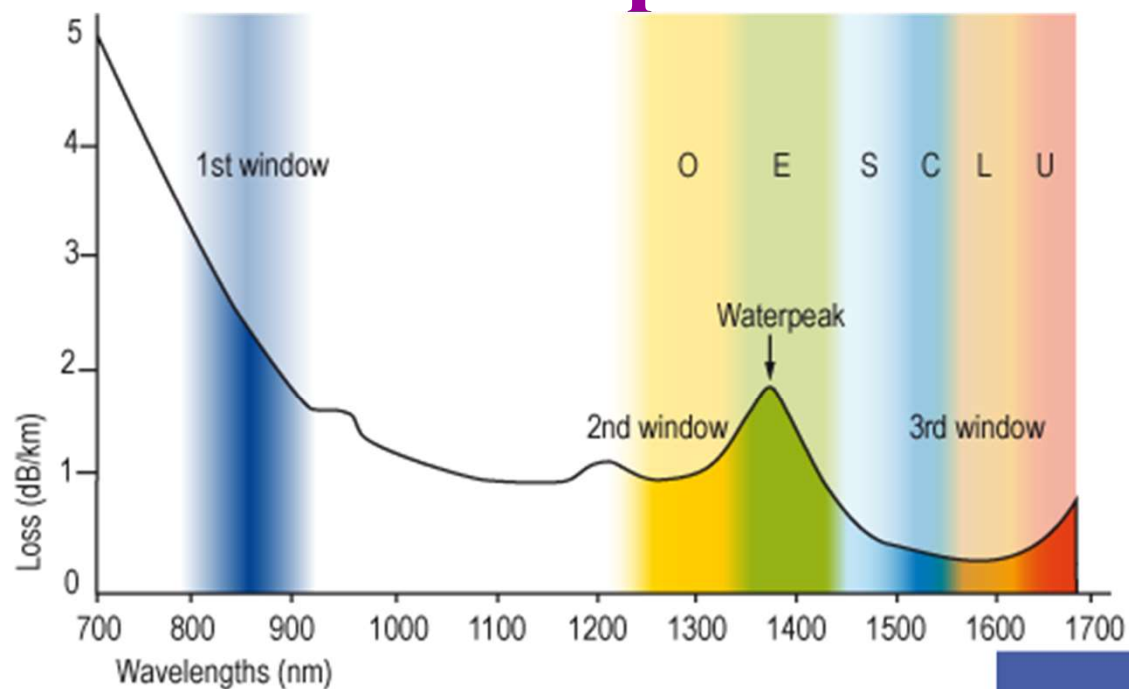
- Útkülönbségből adódó diszperzió



- „Kondicionáló” beiktatása, „Graded-index” fiber



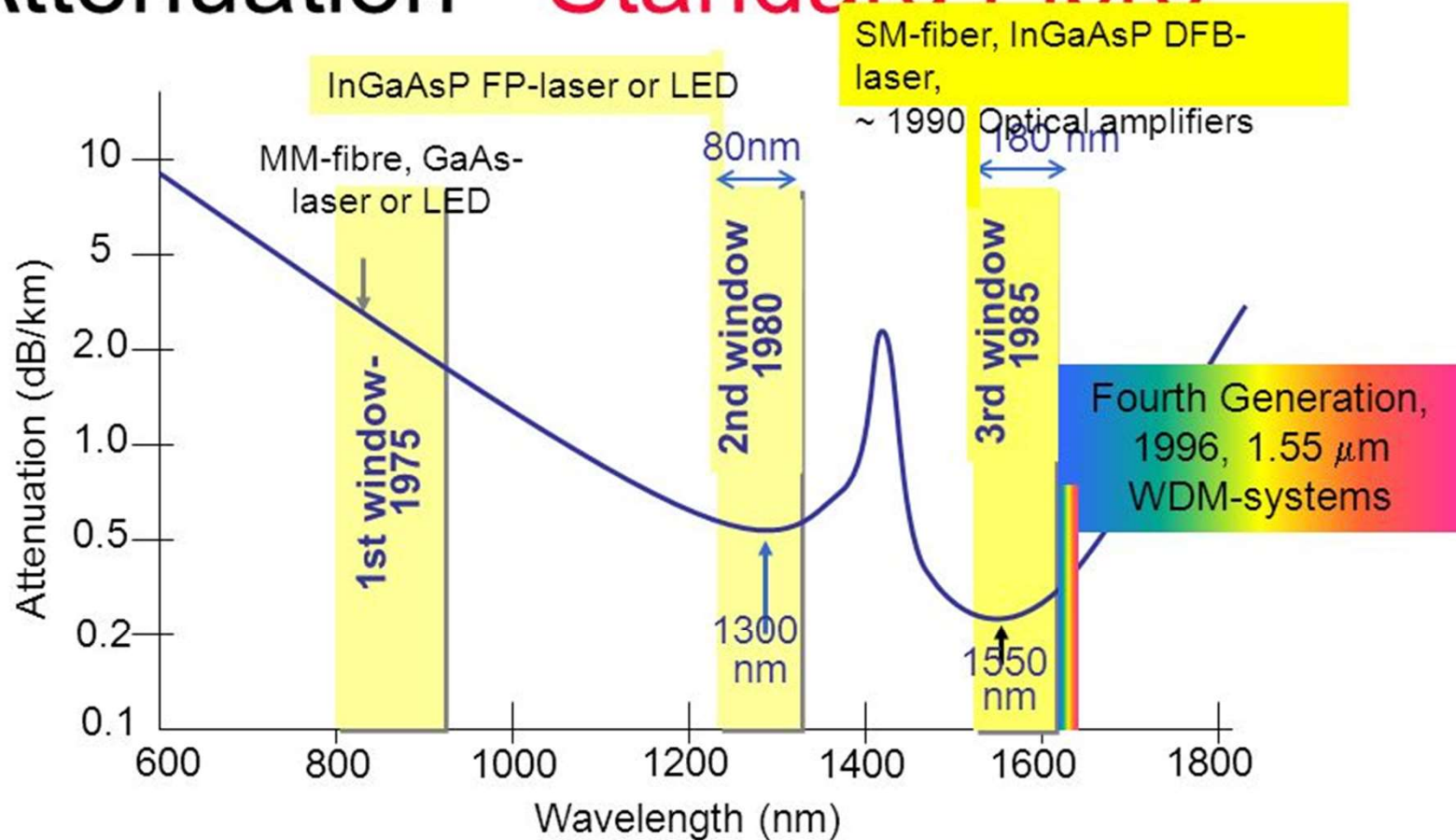
Optikai veszteségek



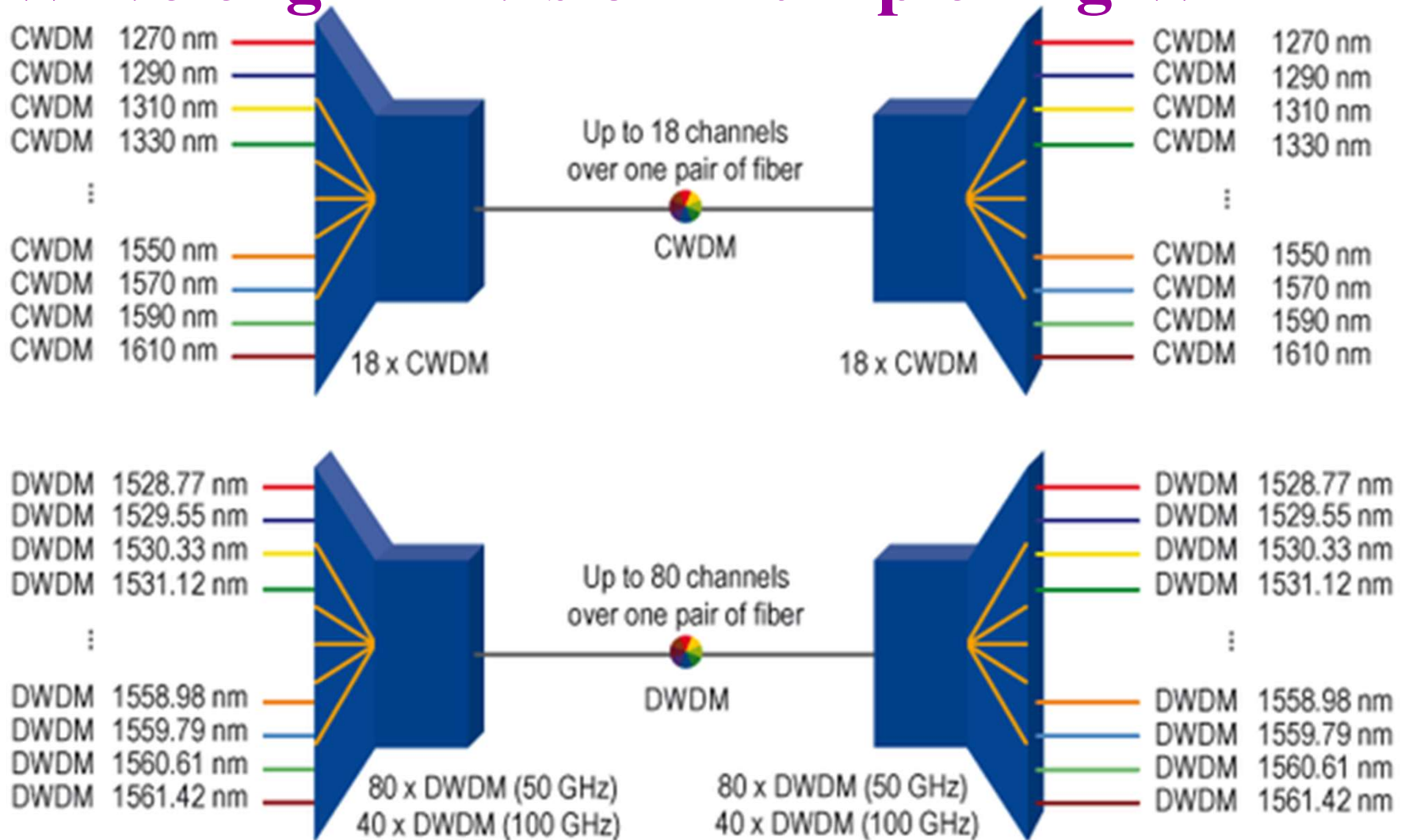
Optical band	Wavelengths
O (Original)-Band	1260 nm – 1360 nm
E (Extended)-Band	1360 nm – 1460 nm
S (Short)-Band	1460 nm – 1530 nm
C (Conventional)-Band	1530 nm – 1565 nm
L (Long)-Band	1565 nm – 1625 nm
U (Ultralong)-Band	1625 nm – 1675 nm

Optikai veszteségek

Attenuation - Standard Fibre



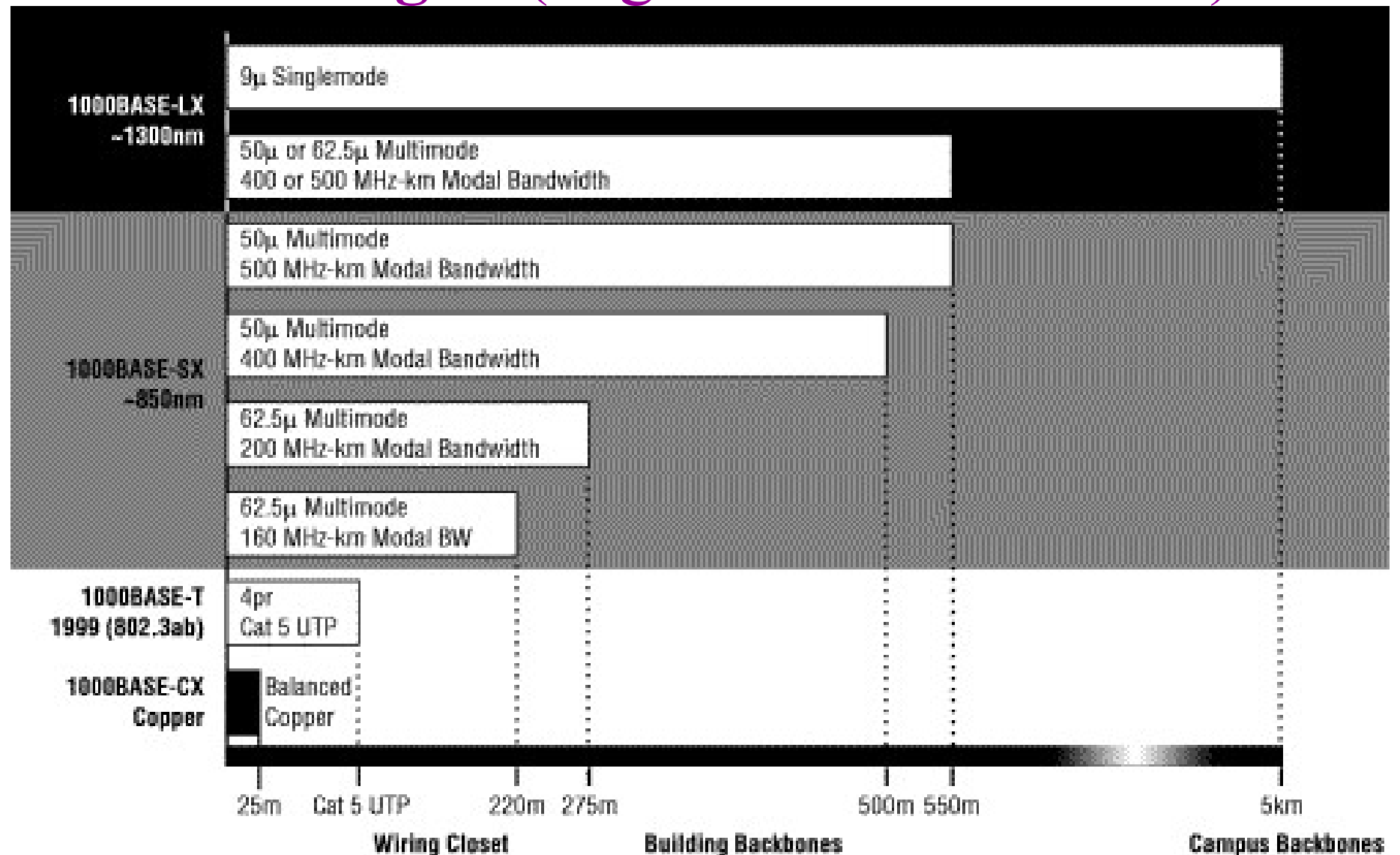
Wavelength Division Multiplexing WDM



➤ **CWDM: 20nm**

➤ **DWDM: 0.8nm – 100GHz / 0.4nm – 50 GHz**

Távolságok (Gigabit Ethernet LAN)



10GBASE Ethernet (802.3ae 802.3an)

10GBASE-LX4	1310 nm	62.5µm MMF	500 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-LX4	1310 nm	50µm MMF	400 MHz/km	2 - 240 m
10GBASE-LX4	1310 nm	50µm MMF	500 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-LX4	1310 nm	10µm MMF	N/A	2 - 10 km
10GBASE-S	850 nm	62.5µm MMF	160 MHz/km	2 - 26 m
10GBASE-S	850 nm	62.5µm MMF	200 MHz/km	2 - 33 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	400 MHz/km	2 - 66 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	500 MHz/km	2 - 82 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	2000 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-L	1310 nm	10µm SMF	N/A	2 - 10 km
10GBASE-E	1550 nm	10µm SMF	N/A	2 - 30 km

10GBASE-SR SFP+ transceiver

10GBASE-T 802.3an-2006 (64B65B PAM-16 128-DSQ)

100m Cat 6A, 55m Cat 5e, Cat 6

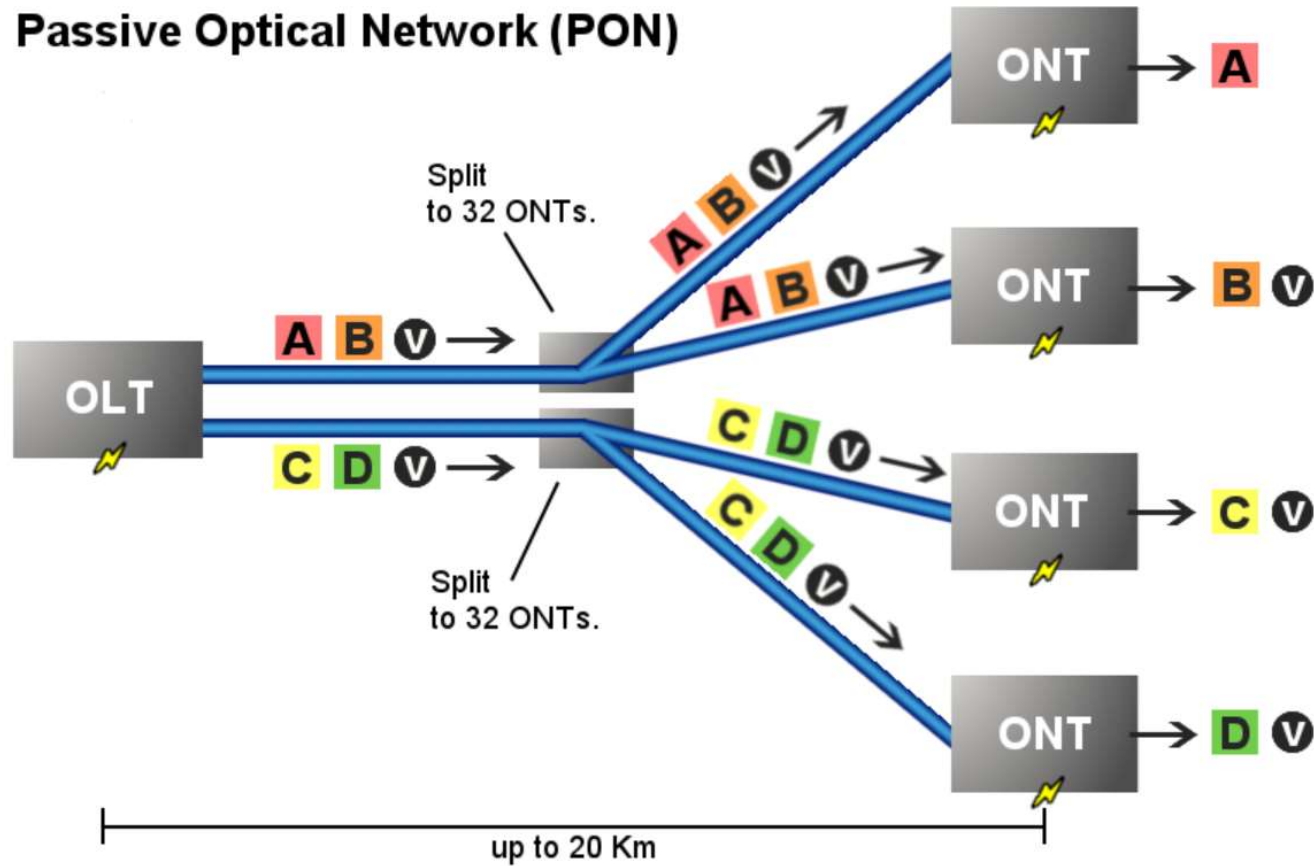
2.5GBASE-T, 5GBASE-T IEEE 802.3bz-2016, NBASE-T, MGBASE-T

100m Cat 5e, Cat 6



Passive Optical Network (PON)

Passive Optical Network (PON)



Optical Line Terminal (OLT) - service provider

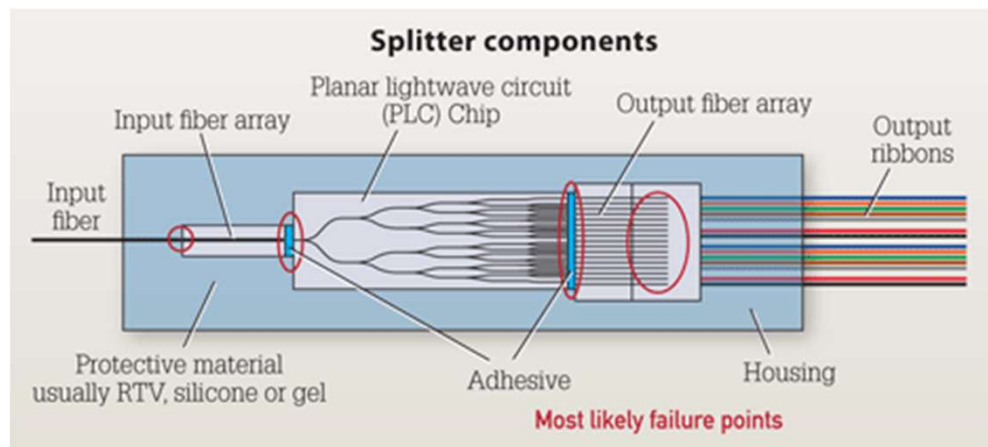
Optical Network Terminals (Units) (ONTs) – end users

Downstream: broadcast, single mode, 1490 nm

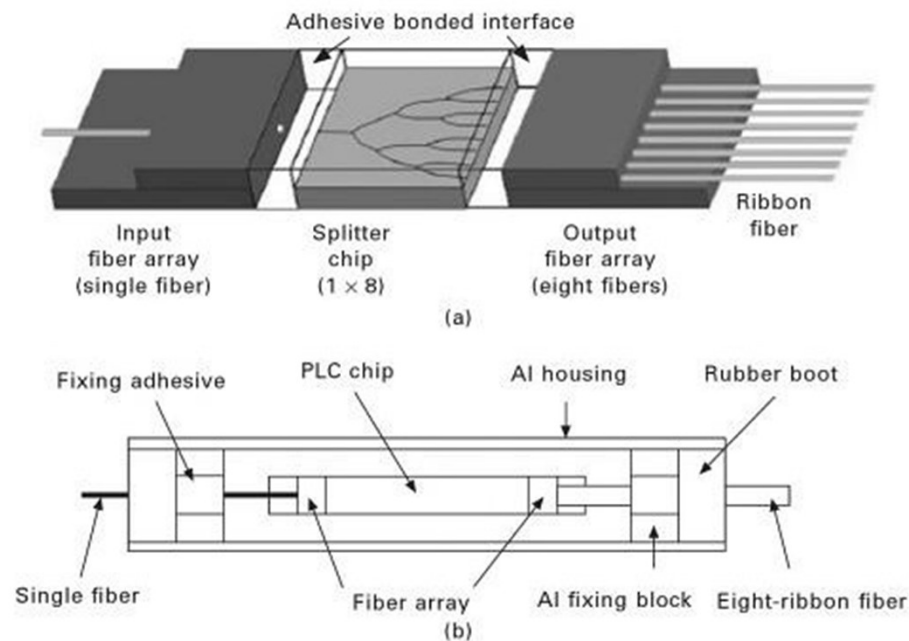
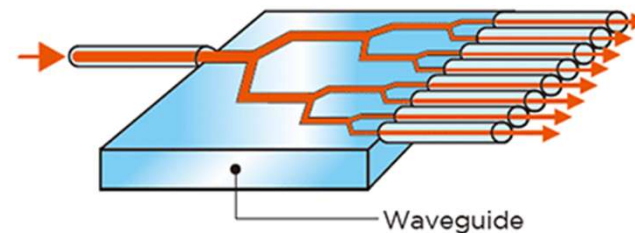
Upstream: TDMA, single mode, 1310 nm

1550 nm is reserved for optional overlay services, e.g. RF (analog) video

Passive Optical Network (PON)



PLC splitter (ex. 1x8 splits.)



Kapcsolódó ZH kérdések pl.

- (, illetve az azokra tavaly kapott válaszok :-)

3a. Feladat:

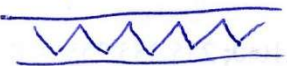
Mi az optikai kábelek működésének alapötlete? (1 pont)

Vékony félcső, mag, melyben a fény szellője az egy-
mástól adatot. Két fajtája van: A, mono: hullámhossz-
B, multi: hullámhossz-
különbség

4a. Feladat:

3a. Feladat:

Mi az optikai kábelek működésének alapötlete? (1 pont)

~~Az optikai kábelben a fény (lény) egyenesen halad, mint (lény)~~
 ~~Hogys a kábelben a fényt úgy tudják~~
~~törni, hogy az a leggyorsabban tudjon~~
~~hogy az a kábel kezdőpontjából eljussa a végpontjához~~

4a. Feladat:

Milyen statikus csatornamegosztási módszereket ismer? (1 pont)

Mi az optikai kábelek működésének alapötlete? (1 pont)

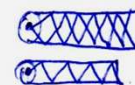
$$\sim \frac{S}{V} = 18,16$$

A kábel belsejében plazma szelű anyag van és ebben halad a fény.

1c. Feladat:

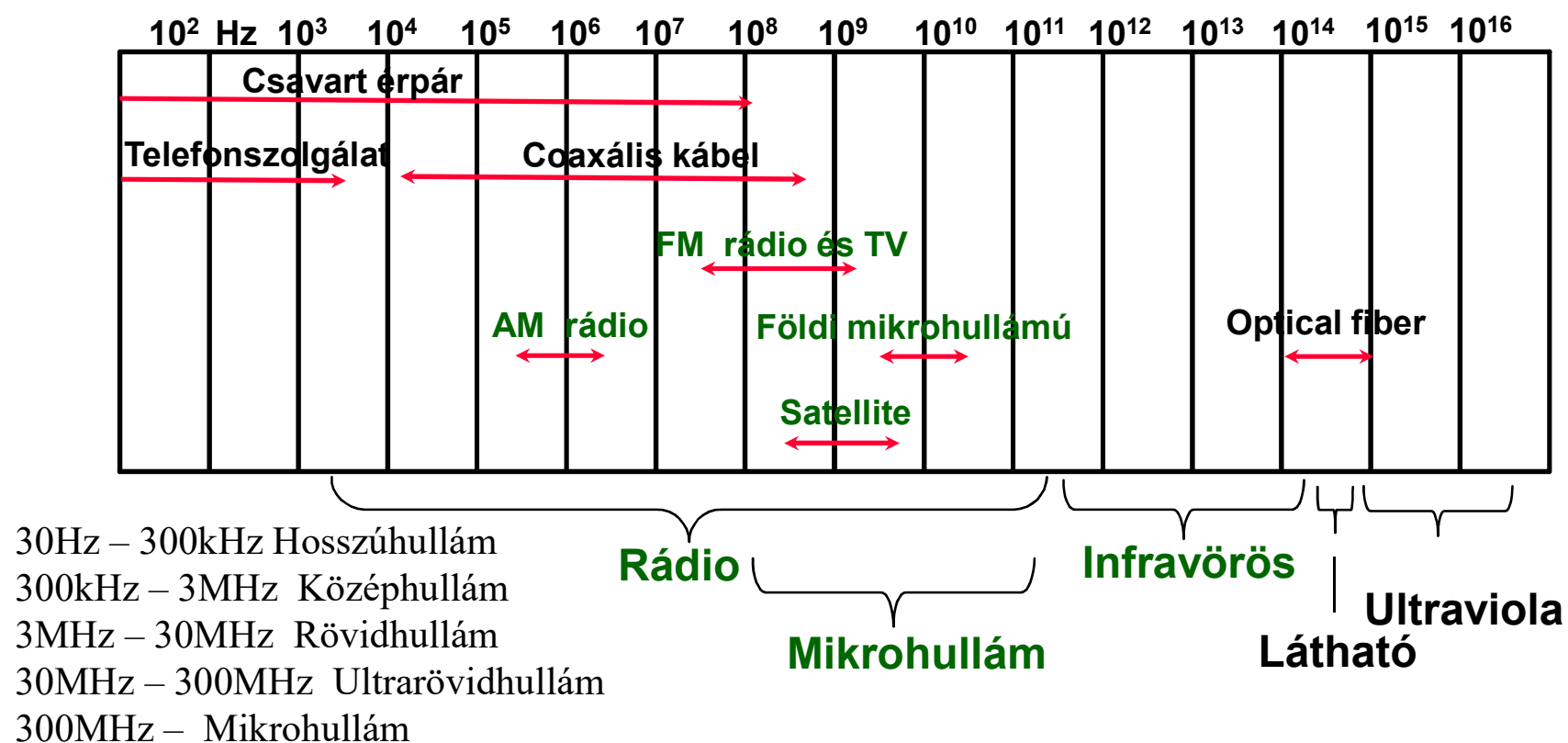
Mi a lényeges különbség a multimódusú és monomódusú optikai szálak között? (1 pont)

a multimódusnál a fény több irányba tör
míg a monomódusnál csak egy irányba



Handwritten signature/initials.

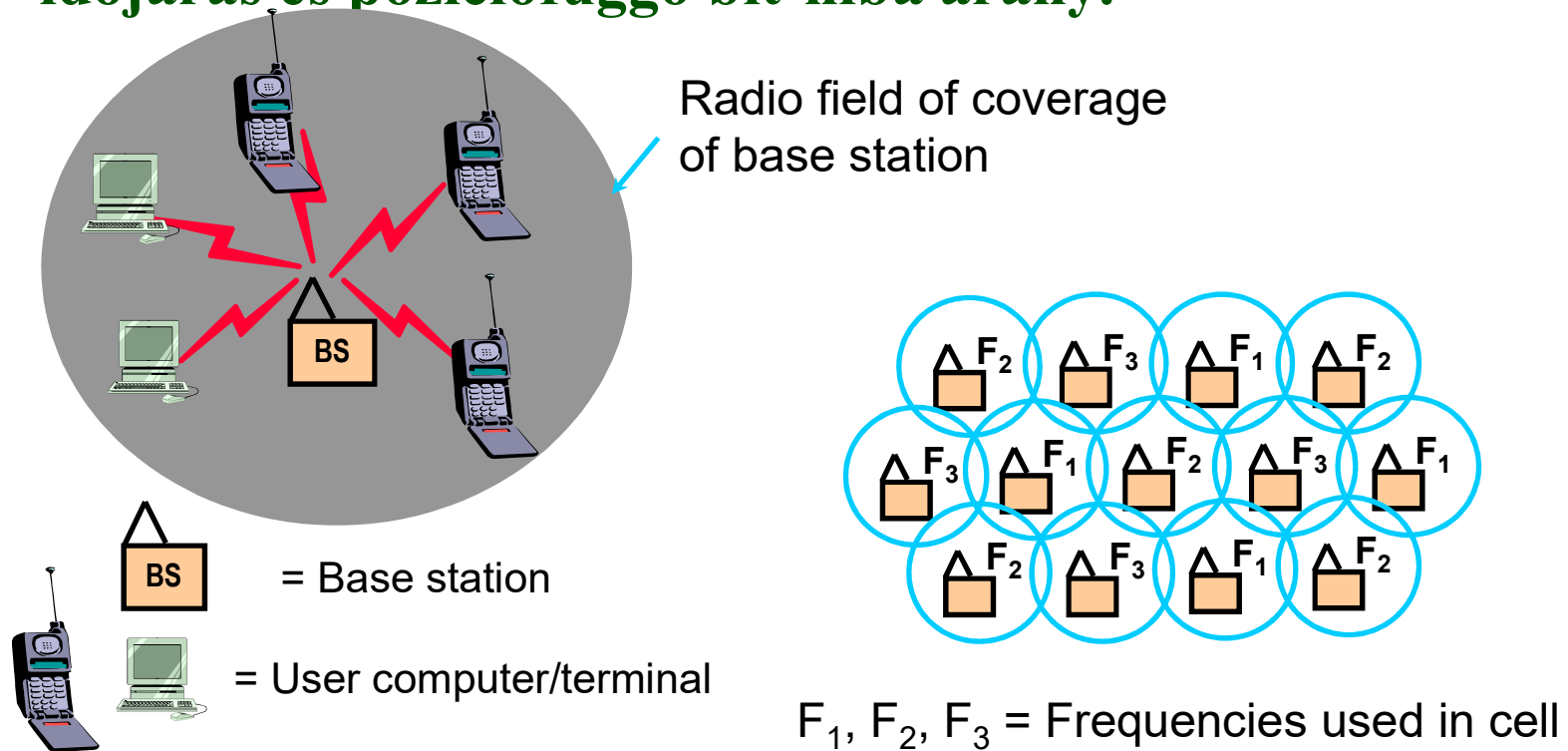
Vezetéknélküli átvitel



- **Eletromágneses hullámok terjedése a "levegőben"**
(nem kell külön fiziai összeköttetést kiépíteni)
- **Igen nagy távolságokat is át lehet hidalni vele**

Földi rádiós (URH)

- Kis távolságú, alacsony sebességű mobil összeköttetés a bázis állomás és a terminálok között.
- Kilégítő rendelkezésreállítás, időjárás és pozíciófüggő bit-hiba arány.



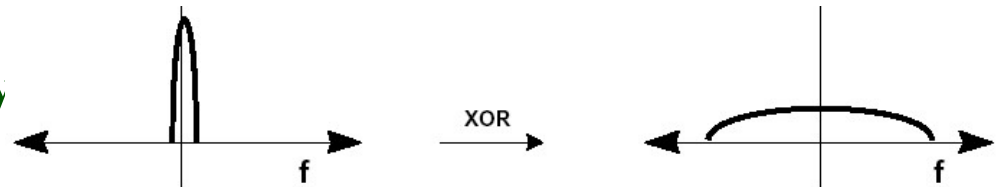
Földi rádiós (WLAN)

- **Wireless LAN (WLAN) – pl. IEEE 802.11b**
- **Sebesség: 1, 2, 5.5, 11 Mbps (IEEE 802.11b)**
- **Frekvencia 2400-2483.5 MHz**
- **Teljesítmény: 100 mW**
- **Hatótávolság 1Mbps (tipikus):**
460m nyílt terepen, 300m kézi berendezésnél, 90m irodában
- **Hatótávolság 11Mbps (tipikus):**
120m nyílt terepen, 90m kézi berendezésnél, 30m irodában
- **Szórt spektrumú rádiós csatorna**
 - **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), vagy**
 - **Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)**
- **Nincs frekvencia-engedélyhez kötve**

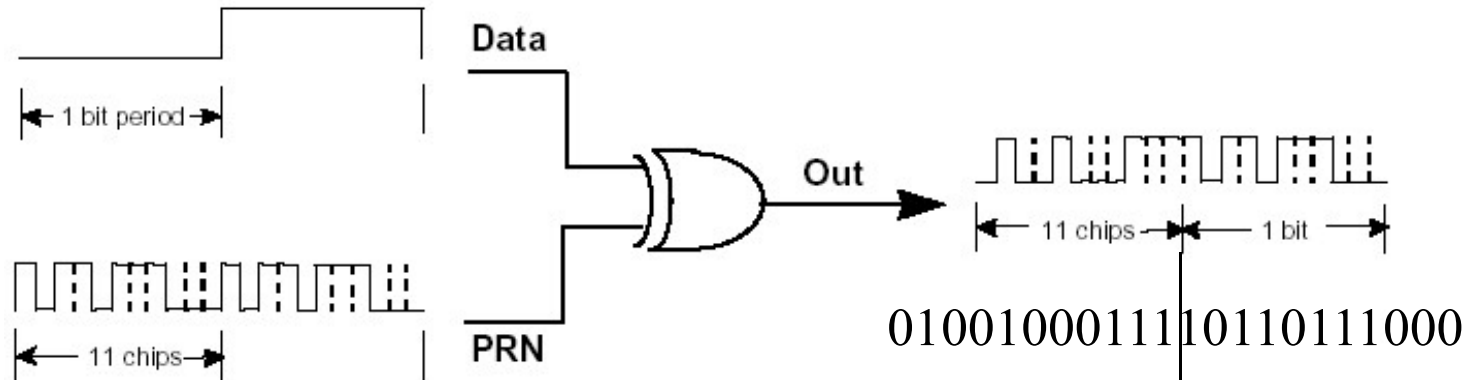
Földi rádiós (WLAN)

- Szórt spektrumú rádiós csatorna

- Nagyobb sávszélesség:
csökkentett adóteljesítmény
változatlan jelteljesítmény



- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)



11 Bit Barker Code (PRN):
1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0

- Demoduláció korellátorral (a Barker kód leszedése)

- Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)

- Az adó frekvenciák gyors változtatása valamilyen előre definiált függvény szerint (a vevő követi)

Földi mikrohullámú

- Közepes, vagy nagy távolság áthidalása (a költséges kábel helyett),
- stabil állomások között, ahol van „mikrohullámú rálátás”. Nagy sebesség, időjárásfüggő.



Távközlési műholdak

- **Mikrohullámú átvitel (nagyávolságú számítógép hálózatokhoz is) földi állomás és műholdak között.**
 - **nagy sebesség (bár időjárásfüggés: az eső elnyeli), gond a magas terjedési késleltetés.**
 - **Transzponder: bizonyos spektrumot figyelnek, erősítenek és visszaadnak (interferenciaelkerülés miatt más spektrumon, különböző polarizációval).**
- Nemzetközi egyezmények a frekvenciasávokra.**
- Geostacionárius műholdak kb 36000Km magasságban:**
- **250-300 msec késleltetést is okozhatnak.**
 - **Három műhold az egész földet “lefedheti”.**

Műhold frekvenciák

- **Optimális az 1 - 10 GHz.**
 - Alatta atmoszférikus zajok, elektromos eszközök zajai;
 - Fölötte erős atmoszférikus csillapítás.
- **C band 4/6 GHz**
 - „fölfelé” (uplink) 5.925 - 6.425 GHz
 - „lefelé” (downlink) 3.7 - 4.2 GHz
- **KU band 12/14 GHz (nagyobb transponder érzékenységet kíván)**
 - uplink 14 - 14.5 GHz
 - downlink 11.7 - 12.2 GHz

Lézeres optikai

- Kistávolságú, stabil telepítésű
(pl. épületek között),
- nagy sáv szélesség,
- időjárásfüggő.

A közeg kiválasztásának tényezői

- **Sáv szélesség és adatátviteli sebesség:**
a szükségletünknek megfelelőt válasszuk
- **Távolság:** figyelembe venni, milyen távolságot hidalhatunk át.
Figyelembe kell venni a késleltetést is!
- **Minőség:** tolerálhatók bizonyos hibák, vagy sem
(zavarvédelem, megbízhatóság,
pl. rossz időjárás esetén rendelkezésre állás)
- **Üzenetszórásra való alkalmasság**
- **Költség:** a közeg és az eszközök különböző költségűek

Hasonlításunk össze

	Földi rádiós	Lézeres	Mikrohullám	Műholdas
Adatátviteli seb.	16 Kbps	100 Mbps	100 Mbps	500MHz több 500 Mbps
Áthidalható táv.	10-50 Km	1-2 Km	100 Km	kontinensre
Késleltetés	3 μs/km	-	3 μs/km	250-300 msec
Zavarvédelem	időjárásfüggő			
Megbízhatóság	közepes	jó	jó	kiváló
Üzenetszórás	alkalmas	pont-pont	pont-pont	alkalmas
Ár	költséges berendezések			

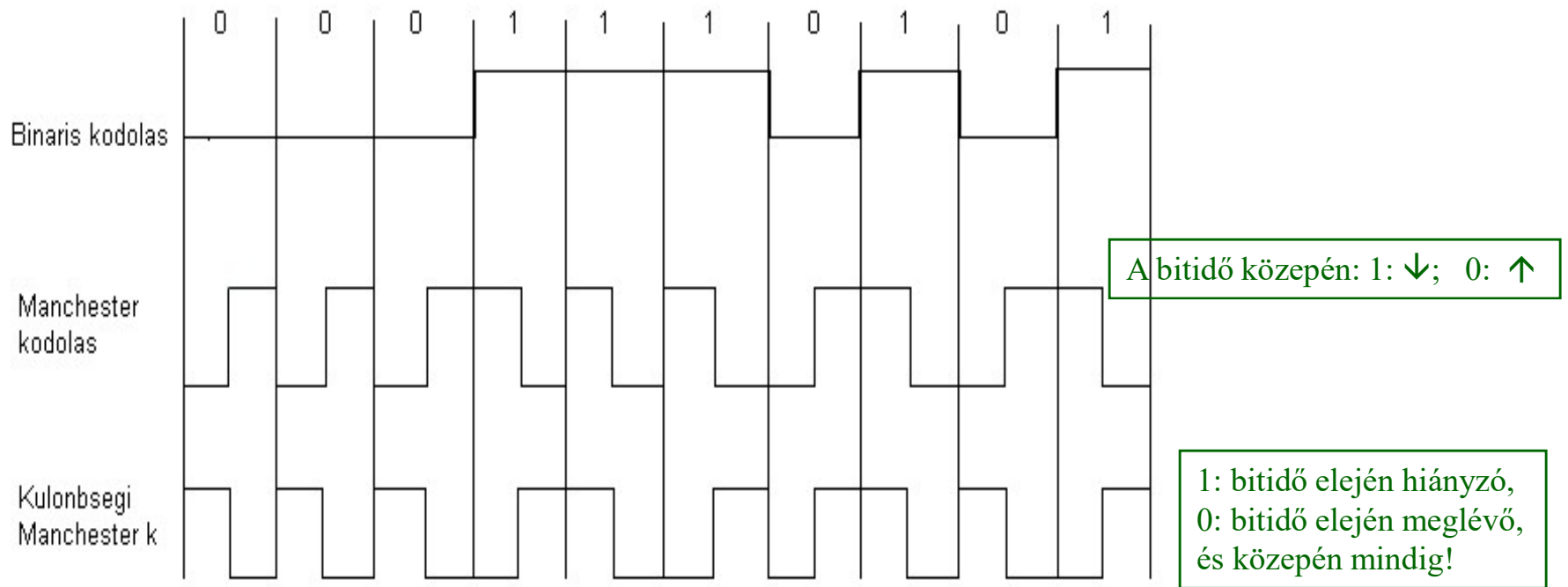
Jelkódolás

- **Az átviteli módok lehetnek**
 - Alapsávú átvitel
 - Szélessávú átvitel
(telefontechnika: modulálás –
digitális jelek analóg csatornán való továbbítása)
- **Egyszerű bináris jelkódolás (alapsávú)**
 - bináris értékekhez a jelszintek (feszültség vagy áram):
pl. 1: 1V; 0: 0V
 - Probléma szinkronizálás:
pl. csupa 0 esetén nincs jelváltozás
 - Ezen segíthet pl. a Manchester kódolás

Manchester kódolás

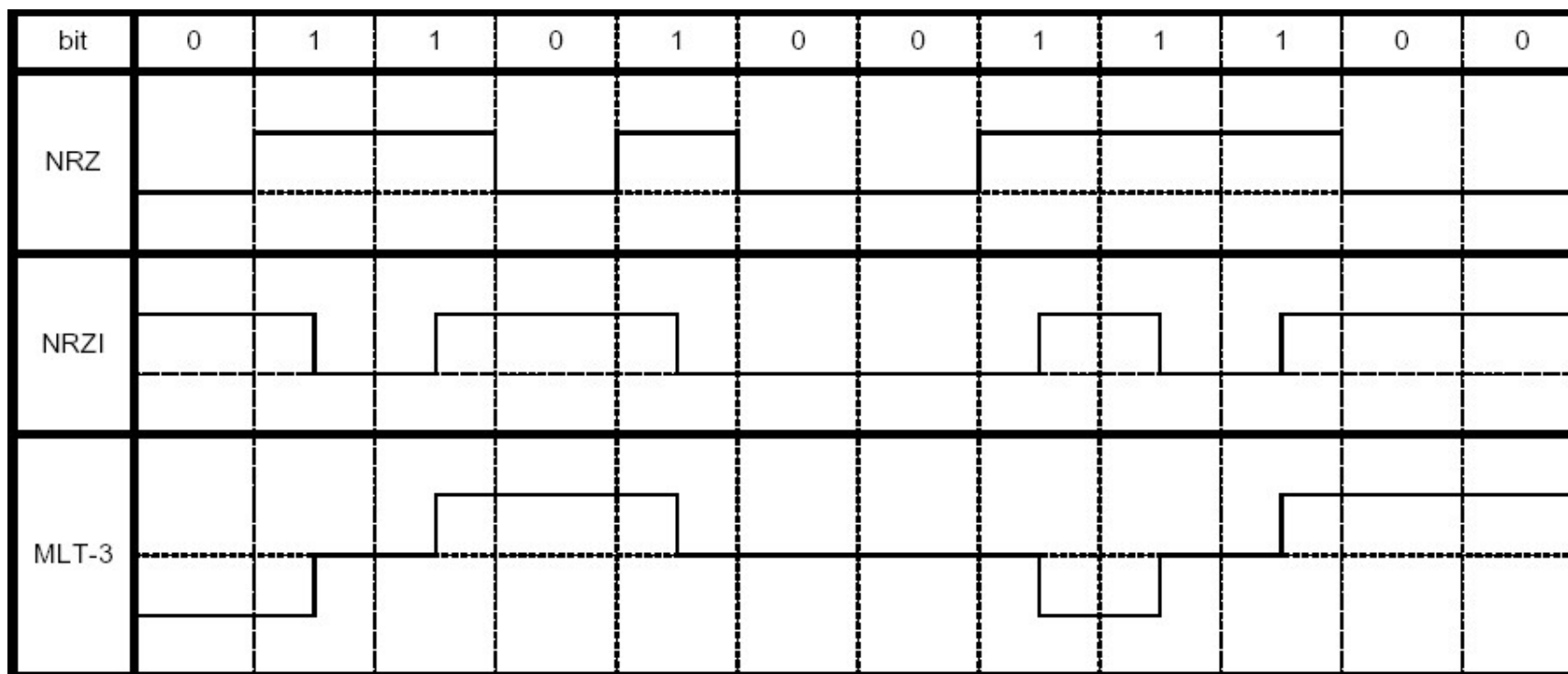
- **A Manchester-kódolás**
 - Minden bitperiódus 2 részre oszlik,
 - a bitidő közepén mindig van átmenet (bitszinkron):
 - 1: magas-alacsony,
 - 0: alacsony-magas átmenet.
 - Hátránya: kétszeres sávszélesség igény (fele olyan széles impulzusok).
- **Különbségi Manchester kódolás (variáns)**
 - 1: a bitidő elején hiányzó átmenet,
 - 0: a bitidő elején jelenlévő átmenet és a
 - bitidő közepén itt is mindig van átmenet, de
 - a jel polaritására érzéketlen.

Példa három különböző jelkódolásra



MLT-3 Encoding

- Non Return to Zero, NRZ-Invertive (1-nél vált), Multi-Level Transition 3



- Csupa „1” esetén pl: 1111=+1,0,-1,0 → 1/4 frekvencia csökkenés
- Csupa „0” esetén → nincs adás (itt is lehet bitszinkron hiba)
- Csökken a max. frekvencia, de nem nyerhető ki belőle a bitszinkron

4B/5B Encoding

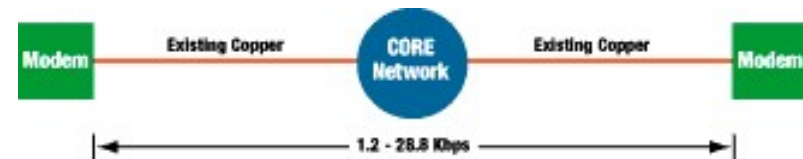
Data Input (4 bits)	Code Group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation
0000	11110		Data 0
0001	01001		Data 1
0010	10100		Data 2
0011	10101		Data 3
0100	01010		Data 4
0101	01011		Data 5
0110	01110		Data 6
0111	01111		Data 7
1000	10010		Data 8
1001	10011		Data 9
1010	10110		Data A
1011	10111		Data B
1100	11010		Data C

- Vezérlőkódok
- Hibadetektálás
- 25% veszteség (4+1)
- Szinkronizálás
- 4B/5B + MLT-3 → 100BaseT

1101	11011		Data D
1110	11100		Data E
1111	11101		Data F
	11111		Idle
	11000		Start of stream delimiter, part 1
	10001		Start of stream delimiter, part 2
	01101		End of stream delimiter, part 1
	00111		End of stream delimiter, part 2
	00100		Transmit error
	other		invalid codes

Jelek modulálása

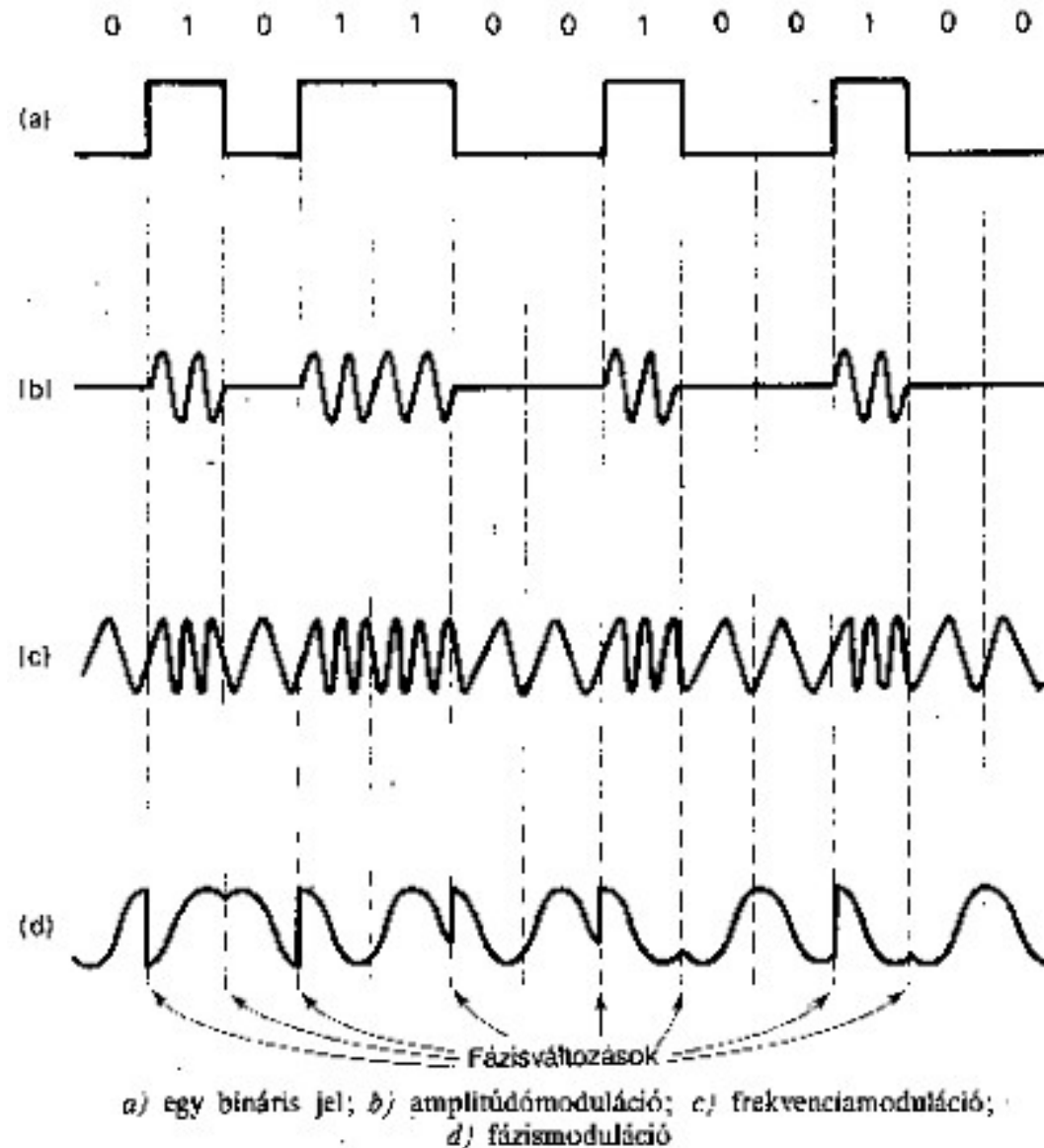
- Ilyen kell pl. analóg távbeszélőrendszeren való digitális jelátvitelhez
 - A távbeszélőrendszer: nyilvános kapcsolt hálózat → az egész világot behálózó (analóg) kapcsoltvonal hálózat
- Gond a digitális jelek analóg kapcsoltvonalon továbbítása. Modem (modulátor-demodulátor) kell. Feladata:
 - kapcsolat felépítés és bontás (mint a telefon)
 - tárcsázás,
 - sávon belüli jelzés DTMF jelek (2db szinusz egyszerre a 7-ből)
 - a digitális bitfolyam modulált vivőjellé alakítása (oda és vissza).



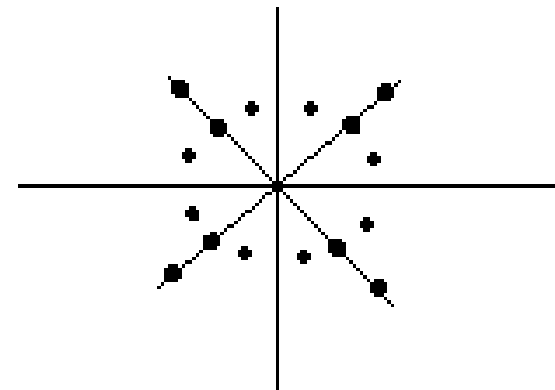
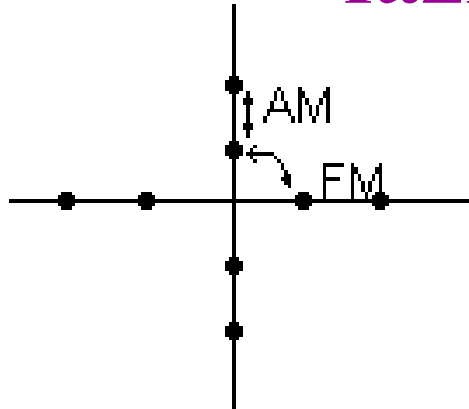
Digitális bitfolyam modulált vivőjellé alakítása

- **Modulációs módszerek (szinuszos vivőhullám)**
 - **amplitúdómoduláció: a vivőjel amplitúdóját változtatják;**
 - **frekvenciamoduláció: a vivőjel frekvenciáját változtatják;**
 - **fázismoduláció: a vivőjel fázisát változtatják;**
 - **és ezek kombinációja (kombinált).**

Modulációs módszerek



Kombinált amplitúdó és fázismoduláció



- 0, 90, 180 és 270 fokos fázisonként (4 db),
- két amplitúdószint →
- 8 lehetséges jelzés 3 bit/ baud moduláció.

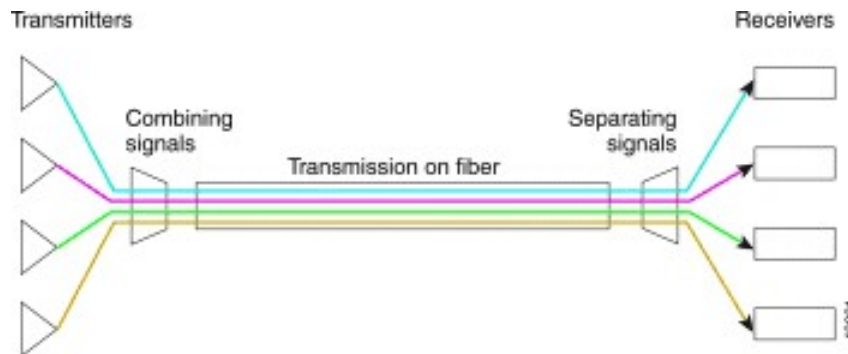
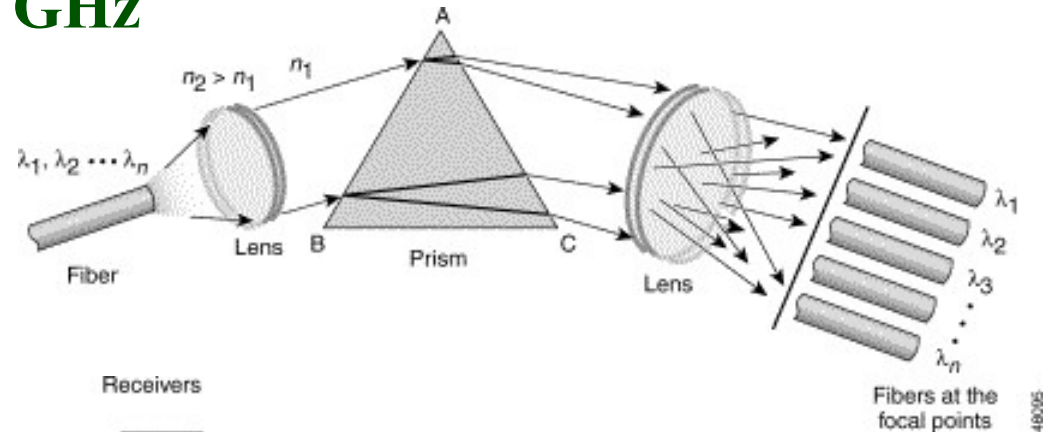
- 30 fokos fázisváltások, ezekből 8-hoz egy, négyhez két amplitúdószint:
- 16 jelzéskombináció lehet 4 bit/ baud moduláció.
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
2400 baud-os vonalon 9600 bps-t biztosít.

Modemek

- **Shannon korlát a távbeszélő vonalon:**
Sávszélesség: 2,400 Hz – 2,800 Hz, S/N 24 dB - 30 dB $\Rightarrow \approx 24,000$ bps
- **1950:** gyártó specifikus, főleg FSK (300 bps - 600 bps) és vestigial sideband (1200 bps - 2400 bps).
- **1964:** Az első CCITT Modem Ajánlás,
V.21 (1964), 200 bps FSK modem (ma 300 bps) V.34/V.8 interfész
- **1968:** 4 Phase (2X2 QAM)
- **1984:** 4X4 QAM, V.22bis
- **1984:** technológiai előretörés V.32
visszhang elnyomás (echo cancellation) és trellis kódolás
V.32bis 14,400 bps.
- **1989/90:** V.34 – 19,200 bps, 24,000 bps majd 28,800 bps.
- **1996:** V.34 – 33,600 bps.
- **Napjainkban 56,600 bps** (de ez aszimmetrikus)
- **De a telefon sávszélesség korlát tipikusan nem az előfizetői hurok, hanem a kapcsológépek sávszűrői miatt vannak**
→ az előfizetői hurkon jóval nagyobb sávszélesség is elérhető (xDSL)

Optikai moduláció

- **Wavelength Division Multiplexing (WDM)**
- **> 64 channel 25-50 GHz**



SONET/SDH:
Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy

STS-1:
Synchronous Transport Signal level 1

SONET	SDH	Data Rates
STS-1		51.840 Mbps
STS-3	STM-1	155.520 Mbps
STS-12	STM-4	622.080 Mbps
STS-48	STM-16	2,488.320 Mbps
STS-192	STM-48	9,953.280 Mbps

Az RS-232-C interfész

- Számítógép és terminál, vagy modem közötti interfész.
- Szabványos elnevezések:
 - Számítógép v. terminál: **adatvégberendezés: DTE** (Data Terminal Equipment);
 - Modem v. **adatátviteli berendezés: DCE** (Data Circuit-Terminating Equipment).
- Fizikai réteg protokoll:
 - mechanikai
 - villamos
 - funkcionális
 - eljárás

} interfészek meghatározása.

Az RS-232-C interfész

- Az RS-232-C az RS-232 harmadik, javított változata
 - Alkotója: **E**lectronis **I**ndustries **A**ssociation
→ EIA RS-232-C
 - CCITT változata: V.24 (nagyon hasonló) (ENSZ szervezet a CCITT)

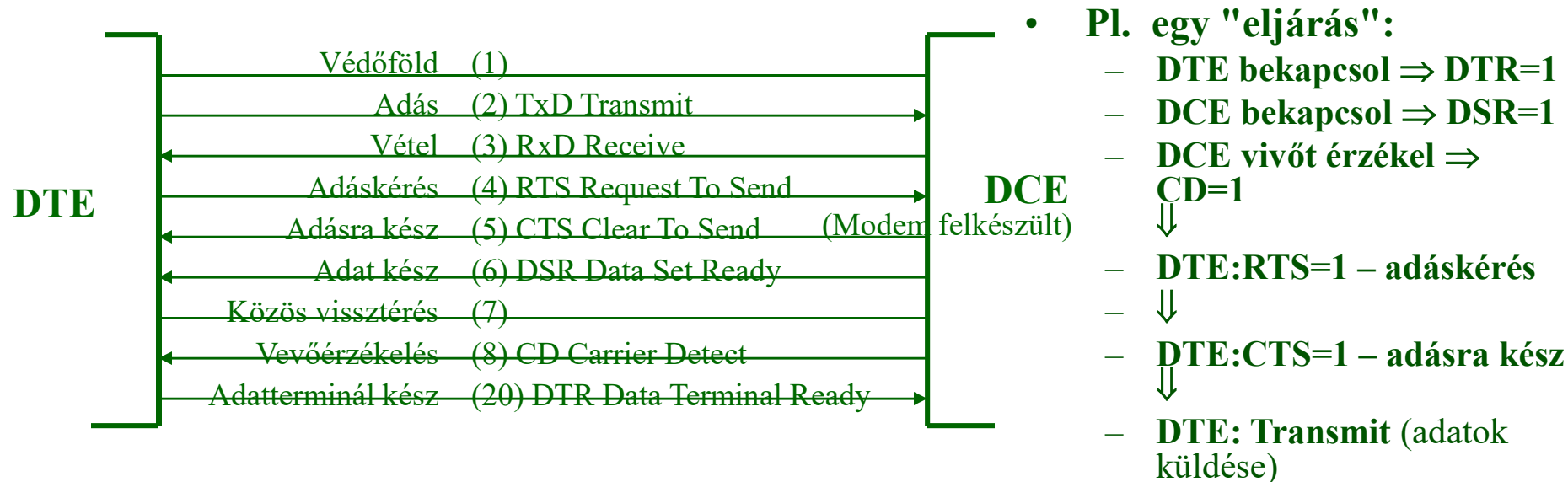
CCITT: Comite Consultatic International de Télégraphique et Téléphonique

Az RS-232-C interfész

- **A mechanikai meghatározás:**
 - 47,04+-0,13 mm szélességű 25 tűskés (D-CANNON) csatlakozó
 - A felső sor tűi 1-13-ig balról jobbra, az alsó 14-25-ig számozva
- **A villamos specifikáció**
 - 3 V-nál kisebb feszültség jelent bináris 1-et,
 - +4 V-nál nagyobb: bináris 0-át.
 - Legfeljebb 15 m kábelek,
 - 20 Kbps sebesség a megengedett.

Az RS-232-C interfész

- **Funkcionális specifikáció:**
a tűkhöz tartozó áramkörök kijelölése és azok leírása

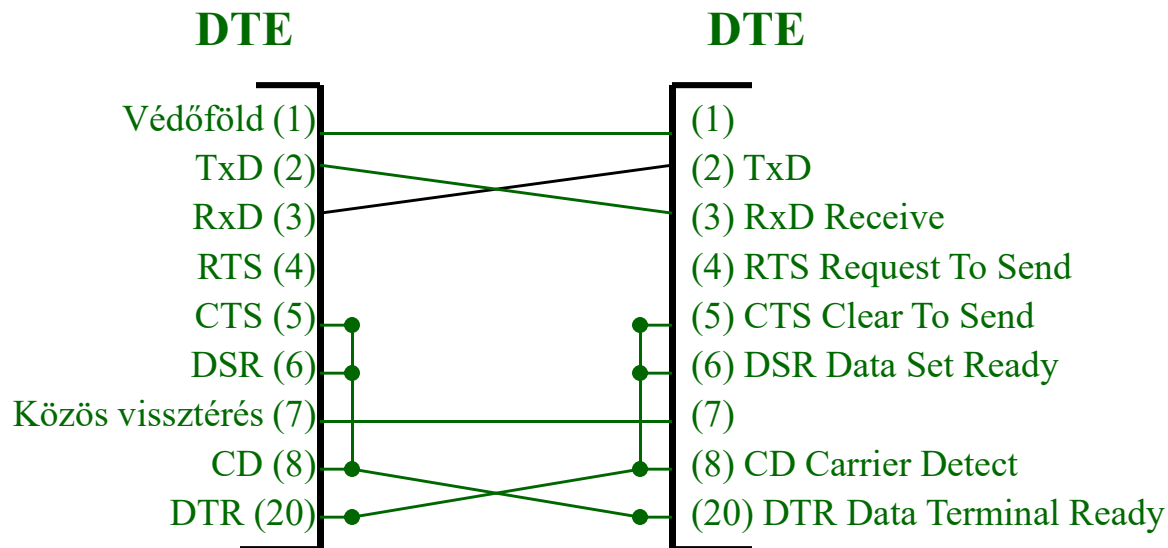


A fel nem tüntetett áramkörök a szinkron átvitelhez tartozó áramkörök, illetve egyéb jelek pl. csengető jel érzékelése

- **Az eljárás specifikáció:**
protokoll, mely az események érvényes sorrendjeit határozza meg.
Akció-reakció eseménypárokon alapul.

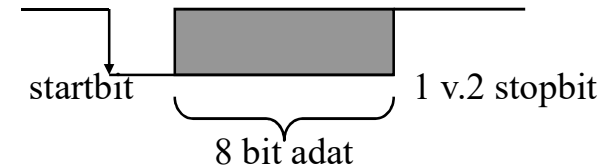
A null-modem

- **DTE-DTE kapcsolatra alkalmas kábel:**
 - **R - T/T - R csere és néhány átkötés (és visszahurkolás)**



A bitidők behatárolása

- **Aszinkron eset: start-stopbites megoldás**



- olyan pontos időzítés kell, hogy az átvitt adatok alatt ne essen ki a bitidőből
 - szabványos sebességek kellenek, amiben a DTE és DCE megegyeznek (vagy kézzel konfigurálnak): 1200, 2400, 4800, 9600 bps stb.
 - A start-stopbitek: veszteség (rossz csatornakihasználtság)
- **Szinkron eset: külön bitidőzítés túske**
 - A DCE (modem) diktálja a vétel-adás sebességét
 - a DTE-ben nem kell sebességet konfigurálni
 - A kerethatárokhoz speciális bitminta (szinkron karakter, vagy flag).

Analóg jelek digitális vonalon

- A telefóniában a trónkók digitálisak
- Az előfizetői hurkok viszont analógok.
- Szükséges tehát:
 - kódoló-dekódoló** (coder-decoder: codec): ami analóg jeleket digitális bitsorozattá (oda és vissza) alakítja

Analóg beszédcsatornán digitális adatok

- **Az analóg beszédcsatorna**
 - 0-4 KHz a sáv szélesség, ez (Nyquist szerint)
 - 8000 minta/sec-kel leírható. Azaz
 - 125 μ sec/minta (125 μ sec-enként egy keret), és ezt egy 8 bites (USA-ban 7 bites) számmá konvertálni
 - a neve PCM (Pulse Code Modulation)
 - Egy hangcsatorna $2 \times 4K \times 8 \rightarrow 64Kbps$ sebességű (Amerikában csak 7 bit $\rightarrow$ ott csak 56 Kbps)

Szabványos PCM sebességek	{	USA, Japán (CCITT, Bell System)	Európa (CCITT)
		T_1 : 1,544 Mbps $\rightarrow$ 24 PCM csatorna	E_1 : 2,048 Mbps : $\rightarrow$ 30PCM + 2 jelzés csat.
		T_2 : 6,312 Mbps	E_2 : 8,848 Mbps
		T_3 : 44,736 Mbps	E_3 : 34,304 Mbps
		T_4 : 274,176 Mbps	E_4 : 565,148 Mbps

PCM vivők

- **A T1 vivő 24 PCM csatornát multiplexál**
 - egy csatornán 7 adat + 1 vezérlőbit, 56 Kbps;
 - egy keret: $24 * 8 \text{ bit} + 1 \text{ keretképzési bit} = 193 \text{ bit}$;
 - 1 keret (193 bit)/ 125 μsec : 1,544 Mbps
- **Az E1 vivő 30 PCM+2 jelzéscsatornát nyalából**
 - a 125 μsec -os keretbe $32*8$ bites minta;
 - 256 bit / 125 μsec : 2,048 Mbps

Szabványos PCM sebességek	USA, Japán (CCITT, Bell System)		Európa (CCITT)
	T ₁ : 1,544 Mbps → 24 PCM csatorna		E ₁ : 2,048 Mbps : → 30PCM + 2 jelzés csat.
	T ₂ : 6,312 Mbps		E ₂ : 8,848 Mbps
	T ₃ : 44,736 Mbps		E ₃ : 34,304 Mbps
	T ₄ : 274,176 Mbps		E ₄ : 565,148 Mbps

Kódolási rendszerek

Hogy lehetne kódolással az átvíendő bitek számát csökkenteni?

- Különbségi impulzus-modulációval (differential pulse code modulation): az aktuális és a megelőző minta különbségét viszik át
- Delta modulációval: csak 1 bittel jelzik, hogy a jel nő, vagy csökken (lemeradhat)
- Prediktív kódolással (predictive encoding): előző néhány értékből extrapolálva megjósolják a következő értéket, majd az aktuális és a becsült érték különbségét továbbítják. (A dekódoló is ugyanezzel a módszerrel becsül.)

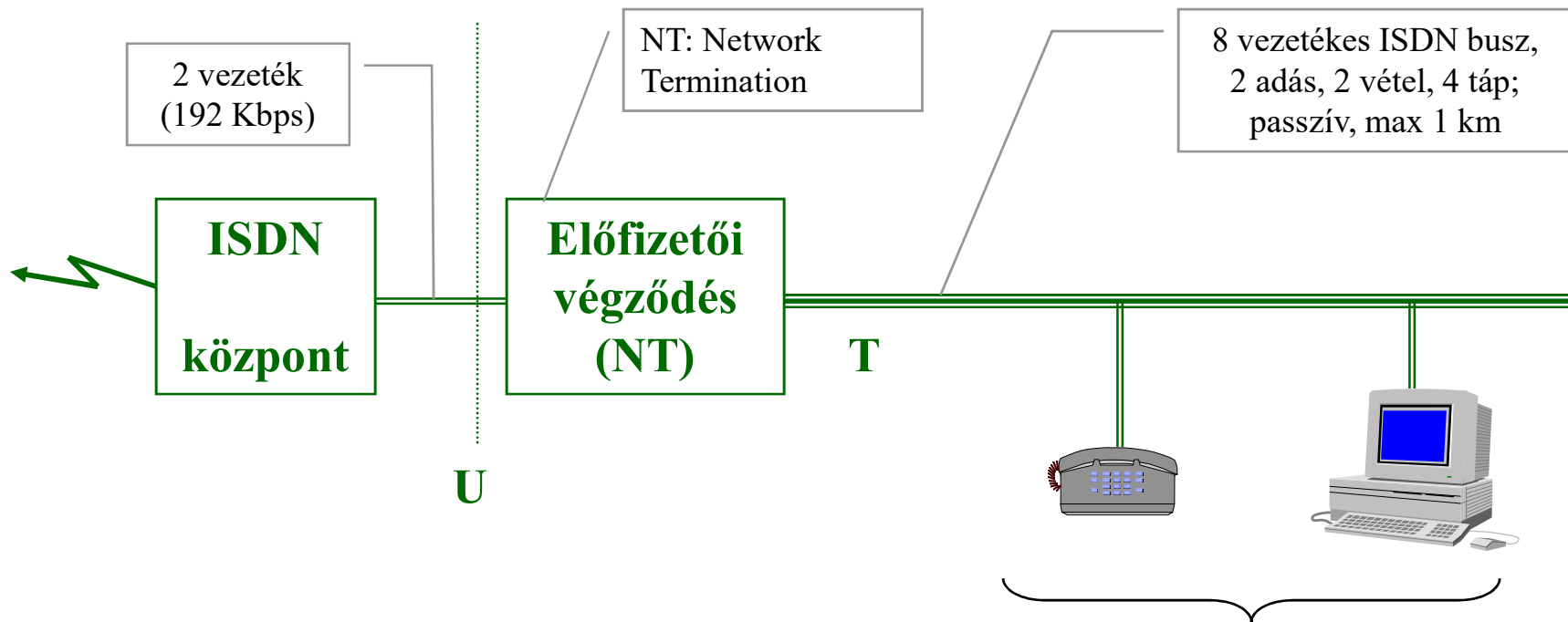
Gyors vonalkapcsolt hálózat: ISDN

- ISDN (Integrated Services Digital Network): integrált szolgáltatású digitális hálózat
- Kialakítási cél:
 - integrálni a hang és a digitális átvitelt;
 - újra kell tervezni a távbeszélőrendszert ...
 - ezért
- a CCITT szabványosította (nem az ISO).
- 1984-ben jóváhagyták, 1988-ban finomították ...
- Olyan, mint a vonalkapcsolás, csak nagyon gyorsan épít/bont ...

Az ISDN alapgondolata

- **A digitális bitcső (digital bit pipe),**
 - **amin a bitek mindkét irányban folyhatnak ...**
 - **Külön jelzéscsatorna a kapcsolat menedzselésére,**
 - **de ha a kapcsolat felépült, tetszőleges digitális adat (telefon, fax, digitális adat, pl. kép stb.) továbbítható.**
 - **A bitcső nyálábolható: időosztásos multiplexeléssel több független csatornát támogat.**

A felépítés

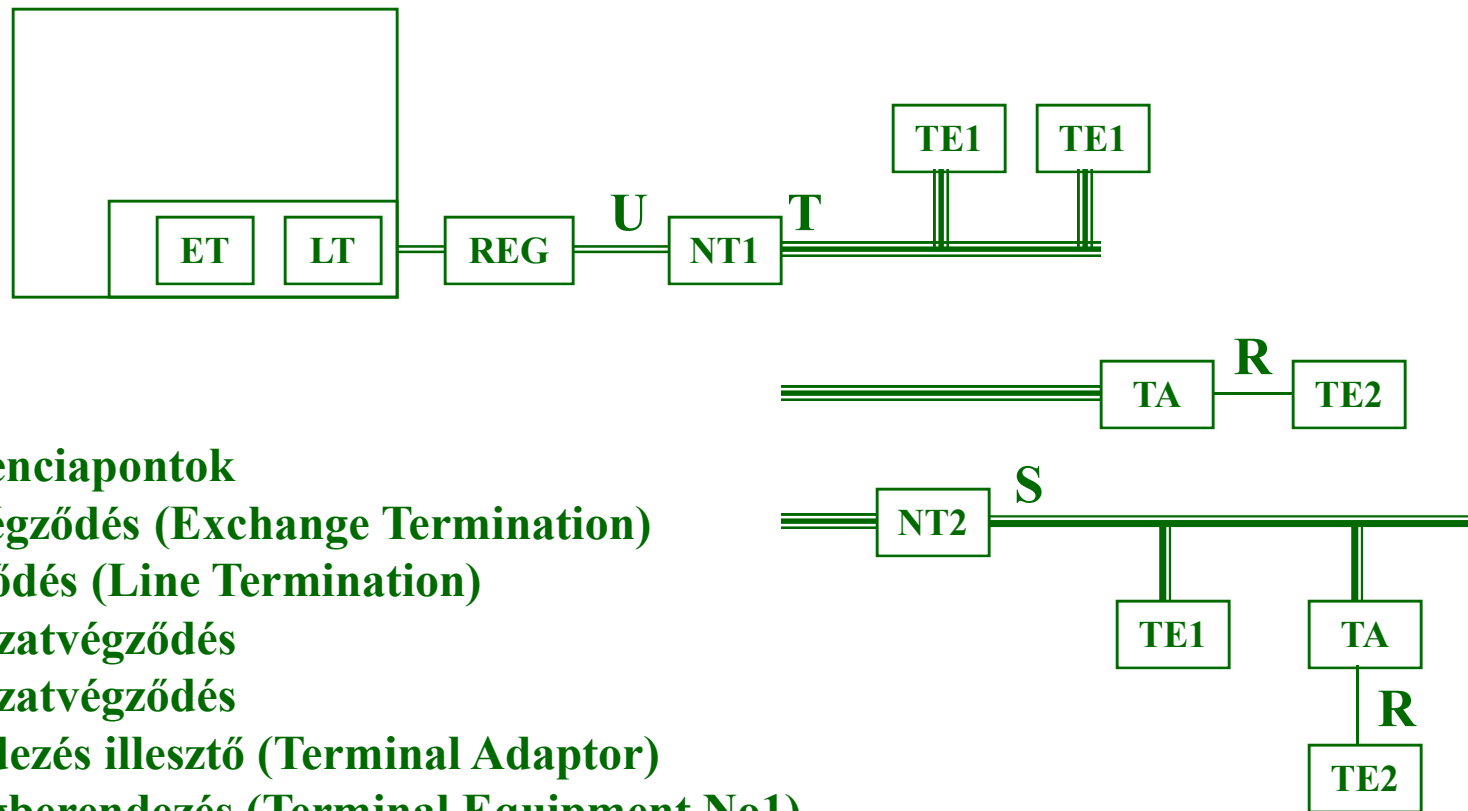


Az NT után lehet ISPBX, ami S referenciapontos eszközöket, pl LAN-t kapcsolhat ...

Címezhető ISDN eszközök
A címeket az NT osztja ki bekapcsoláskor.

Az ISDN bitesőhöz a "hozzáférést" is az NT intézi. A T interfészhez max 8 TE1 berendezés csatlakozhat.

A felépítés



U,T,S,R: referenciapontok

ET: Központvégződés (Exchange Termination)

LT: Vonalvégződés (Line Termination)

NT1: 1-es hálózatvégződés

NT2: 2-es hálózatvégződés

TA: Végberendezés illesztő (Terminal Adaptor)

TE1: ISDN végberendezés (Terminal Equipment No1)

TE2: Nem ISDN végberendezés

REG: Regenerátor

CCITT csatornatípusok

A: 4 KHz-es analóg telefoncsatorna

B: 64 Kbps PCM csatorna hang és adatátvitelre

C: 8 v. 16 Kbps digitális csatorna

D: 16 v. 64 Kbps digitális csatorna az átvivősávon kívüli jelzések számára

E: 64 Kbps digitális csatorna az átvivősávon belüli jelzések számára

H: 384 v. 1536 v. 1920 Kbps digitális csatorna

Szabványos kombinációk:

1) Alaphozzáférés: $2 B + 1 D_{16}$

2) Primer hozzáférés:

USA és Japan: $23 B + 1 D_{64}$ ($\sim T1$)

Európa: $30 B + 1 D_{64}$ ($\sim E1$)

3) Hibrid: $1 A + 1 C$ (gyakorlatilag nem használják)

Gyakorlat

- **1. feladat Adatátviteli sebesség**
 - **Mekkora jel-zaj viszony szükséges legalább egy E1 vivő (2,048 Mbps) 50KHz-es sávszélességű vonalra ültetéséhez?**

Shannon:

$$\text{Elm-max-adatátv-seb} = H \log_2 (1 + S/N) \text{ [bps]}$$

$$2,048 * 10^6 = 50 * 10^3 * \log_2(1 + S/N)$$

$$40,96 = \log_2(1 + S/N)$$

$$2^{40,96} = 1 + S/N$$

$$2,14 * 10^{12} = 1 + S/N$$

$$S/N \approx 2,14 * 10^{12}$$

$$S/N_{[\text{dB}]} \approx 10 * \log_{10} (2,14 * 10^{12})$$

$$S/N_{[\text{dB}]} \approx 10 * 12,33 = \mathbf{123 \text{ dB}}$$

Gyakorlat

- 2. feladat Kódolás

- Vázolja fel a jelváltozásokat a következő bitfolyamra: 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1

- a) bináris,
 - b) Manchester és
 - c) különbségi Manchester kódolásnál!

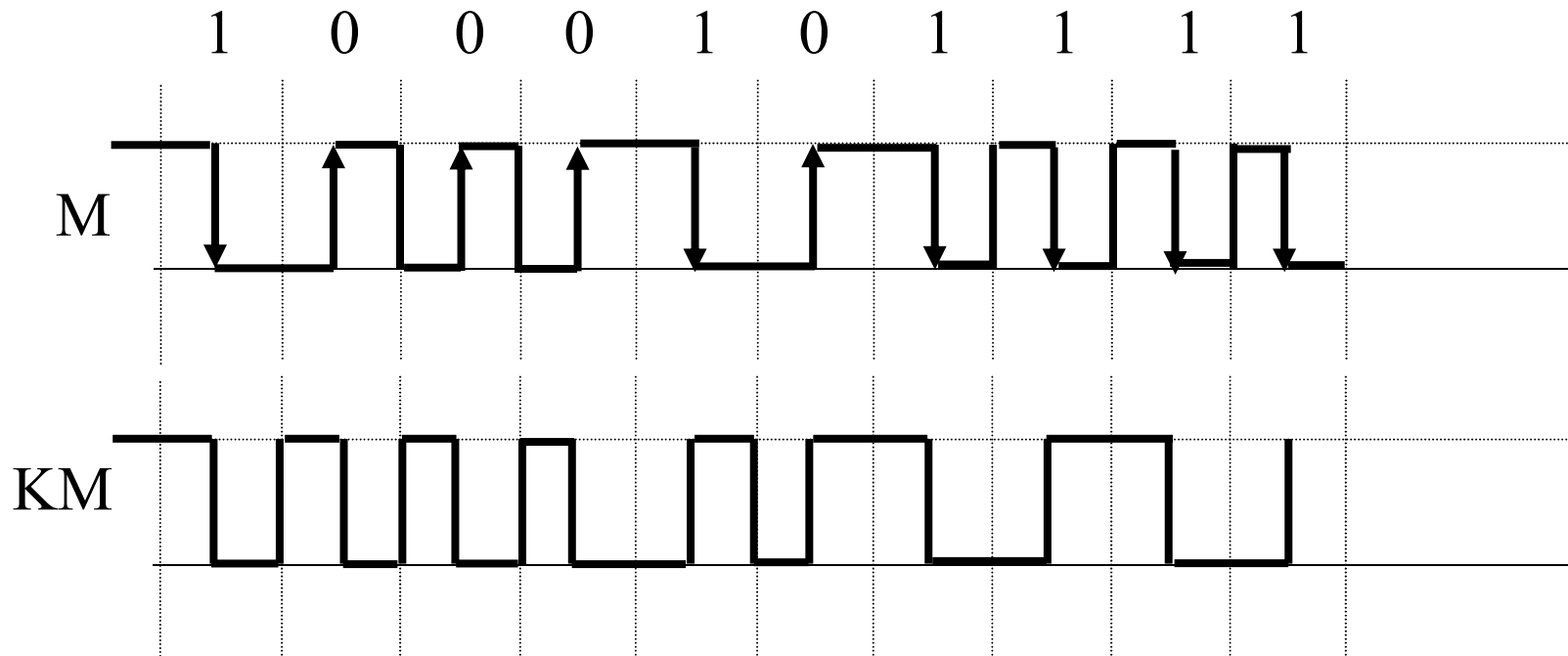
Manchester: középen

1 - ↓ átmenet; 0 - ↑ átmenet.

Különbségi Manchester kódolásnál:

1 - a bitidő elején hiányzó átmenet,

0 - a bitidő elején meglévő átmenet.



Gyakorlat

- **3. feladat Adatátviteli sebesség**
 - **Milyen max jel-zaj viszonyra számíthatunk egy telefonvonal esetén, ha azt PCM csatornán továbbítják? (H=4kHz, 64Kbps)**

Shannon:

$$\text{Elm-max-adatátv-seb} = H * \log_2(1 + S/N)$$

$$64 * 10^3 = 4 * 10^3 * \log_2(1 + S/N)$$

$$16 = \log_2(1 + S/N)$$

$$2^{16} = 1 + S/N$$

$$65536 = 1 + S/N$$

$$S/N = 65535$$

$$S/N_{[DB]} = 10 \log_{10}(S/N) = 10 * \log_{10} 65535 = 10 * 4,82$$

$$S/N_{[DB]} = \mathbf{48,2 \text{ dB}} \text{ legfeljebb}$$

Gyakorlat

- **4. feladat Adatátviteli sebesség**
 - Egy adatátviteli csatorna sávszélessége 30 MHz, melyen legfeljebb 120 Mbps sebességgel kívánunk adatokat továbbítani.
 - a) Legalább hány jelet kell tudnunk megkülönböztetni a fizikai közegen ezen max adatátviteli sebesség eléréséhez?
 - b) Mennyi lehet a maximális jelsebesség a csatornán?
 - c) Ezen max sebességhez milyen minimális jel-zaj viszonyt kell biztosítanunk?

a) Nyquist: adatátvitelisebesség = $2 H \log_2 V$

$$120 \cdot 10^6 = 2 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot \log_2 V$$

$$2 = \log_2 V, V = 4$$

Legalább 4 jel kell tudni megkülönböztetni.

b) $\log_2 V \rightarrow$ bit/Baud

$$\text{Max. jelzéssebesség: } 2 \cdot H = 2 \cdot 30 \cdot 10^6 = \mathbf{60 \cdot 10^6 \text{ Baud}}$$

c) Shannon

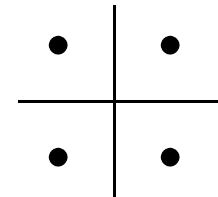
$$120 \cdot 10^6 = 30 \cdot 10^6 \cdot \log_2(1 + S/N) \rightarrow 4 = \log_2(1 + S/N) \rightarrow 16 - 1 = 15 = S/N$$

$$S/N_{[\text{dB}]} = 10 \cdot \log_{10} 15 = \mathbf{11,76 \text{ [dB]}}$$

Gyakorlat

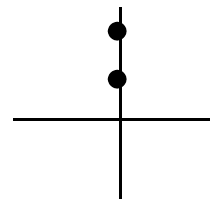
- **5. feladat Adatátviteli sebesség**
 - Egy modem működési diagramjának adatpontjai a következő koordinátákkal jellemezhet[k]:
 - a) (1,1); (1,-1); (-1, 1); (-1, -1)
 - b) (0, 1); (0, 2)
 - Hány bps adatátviteli sebességet érhet el a modem ilyen paraméterekkel 1200 baud-os jelzéssebesség esetén? Milyen modulációt használ a modem?

- a) $V = 4$; $\log_2 V = 2$, **2 bit/ baud**, $\text{adatseb} = \text{jelzésseb} * \text{bit/ baud}$,
 $\text{adatseb} = 12000 * 2 = \mathbf{2400 \text{ bps}}$



Fázismoduláció.

- b) $V = 2$; $\log_2 V = 1$ bit/ baud **adatseb = 1200 bps**



Amplitúdómoduláció.

Gyakorlat

- 6. feladat Vonal és csomagkapcsolás összehasonlítása
 - X bit üzenet továbbítása a., vonalkapcsolt, ill. b., csomagkapcsolt hálózaton (nem átlapolt).
 - Paraméterek:

Vonalkapcsolt hálózat	Áramkör felépítési idő	s [sec]
	Adatátviteli sebesség	b [bps]
Csomagkapcsolt hálózat	Ugrások száma	k
	Ugrásonként késleltetés (feldolgozási idő)	d [sec]
	Csomagméret	p [bit]
	Adatátviteli sebesség	b [bps]

Kérdések:

- Mekkora lesz a késleltetési idő (az első bit mikor érkezik)? $T_k = ?$
- Mekkora lesz az adatátviteli idő? $T_{\text{átv}} = ?$

Gyakorlat

• 6. feladat megoldás

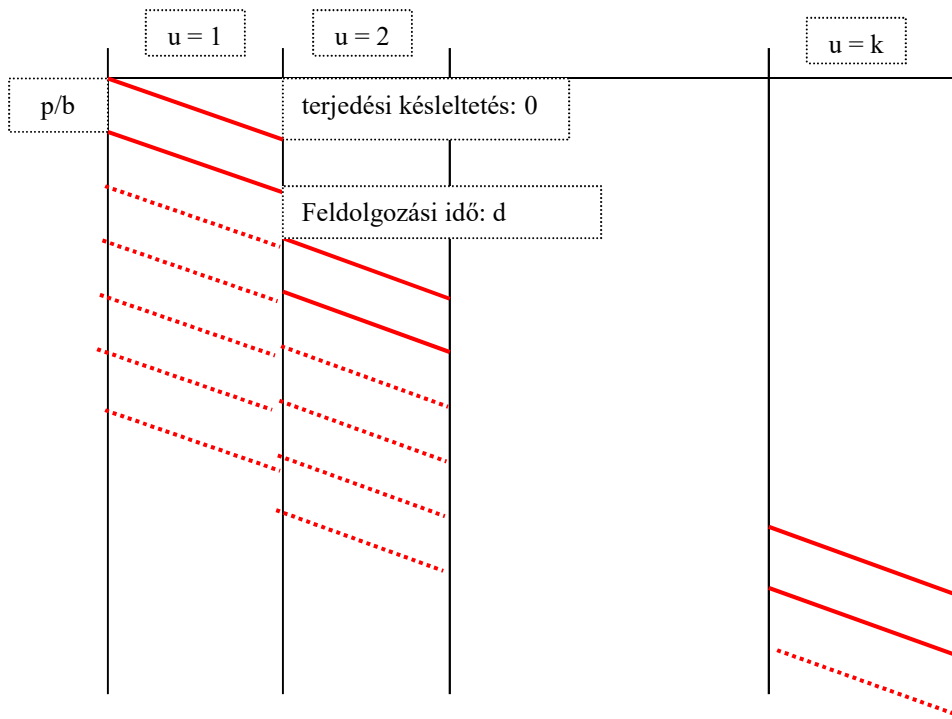
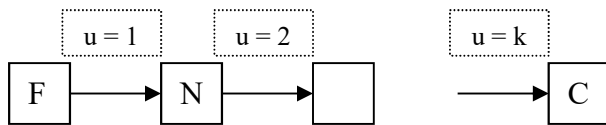
Vonalkapcsolt hálózat: $T_k = \text{áramkör-felépítési-idő} = s \text{ [sec]}, T_{\text{átv}} = s + X/b \text{ [sec]}$

Csomagkapcsolt hálózat:

A csomagok száma: $n = X/p$; ugrások száma: k

1 ugráshoz $p/b + d$ idő kell

(csomagátviteli + késleltetési idő)



Késleltetési idő: T_k

(első csomag megérkezés kezdete)

$$T_k = k \left(\frac{p}{b} + d \right) - \frac{p}{b} = k \cdot d + (k-1) \frac{p}{b}$$

↔
első csomag teljesen megérkezik

Teljes átviteli idő: $T_{\text{átv}}$

(utolsó csomag megérkezés vége)

$$T_{\text{átv}} = k \left(\frac{p}{b} + d \right) + (n-1) \left(\frac{p}{b} \right)$$

↔
a többi teljesen megérkezik

Gyakorlat

• 6. feladat megoldás

Csomagkapcsolt hálózat:

Teljes átviteli idő: $T_{\text{átv}}$
(utolsó csomag megérkezés vége)

A csomagok száma: $n = \frac{X}{p}$

$$T_{\text{átv}} = k \left(\underbrace{\frac{p}{b} + d}_{\text{első csomag teljesen megérkezik}} + \underbrace{(n-1) \left(\frac{p}{b} \right)}_{\text{a többi teljesen megérkezik}} \right)$$

$$T_{\text{átv}} = k \left(\frac{p}{b} + d \right) + \left(\frac{X}{p} - 1 \right) \frac{p}{b} \Rightarrow k \cdot d + \frac{p}{b} \left(k - 1 + \frac{X}{p} \right)$$

első csomag teljesen megérkezik a többi teljesen megérkezik
(átlapolt feldolgozás, a csomagok közvetlenül követik egymást)

Csomagkapcsolt hálózat:

$$T_{\text{átv}} = k \cdot d + (k-1) \frac{p}{b} + \frac{X}{b}$$

Vonalkapcsolt hálózat:

$$T_{\text{átv}} = s + \frac{X}{b}$$

Jobb ha:

$$k \cdot d + (k-1) \frac{p}{b} < s$$