

Fizikai hálózatok

**Készítette:
Schubert Tamás (BMF)**

Tartalom

A fizikai réteg

Alapvető törvények és elmélet

Csillapítás

Korlátozott sáv szélesség

Jelkésleltetés

Vonali zaj

Átviteli közegek

Vezető közegek

Csavart érpáras rézvezeték

Koaxiális kábel

Optikai szál

Nem vezető közegek

Műholdas mikrohullámú átvitel

Földi mikrohullámú átvitel

Irodalom

Alapvető törvények és elmélet

Az átviteli közeg bemenetére adott jel a különböző csillapító és torzító hatások miatt változik, ezért a közeg kimenetén megváltozott jelet érzékelhetünk.

A jel átvitelét befolyásoló csillapító és torzító hatások:

- Csillapítás
- Korlátozott sávszélesség
- Jelkésleltetés
- Vonali zaj

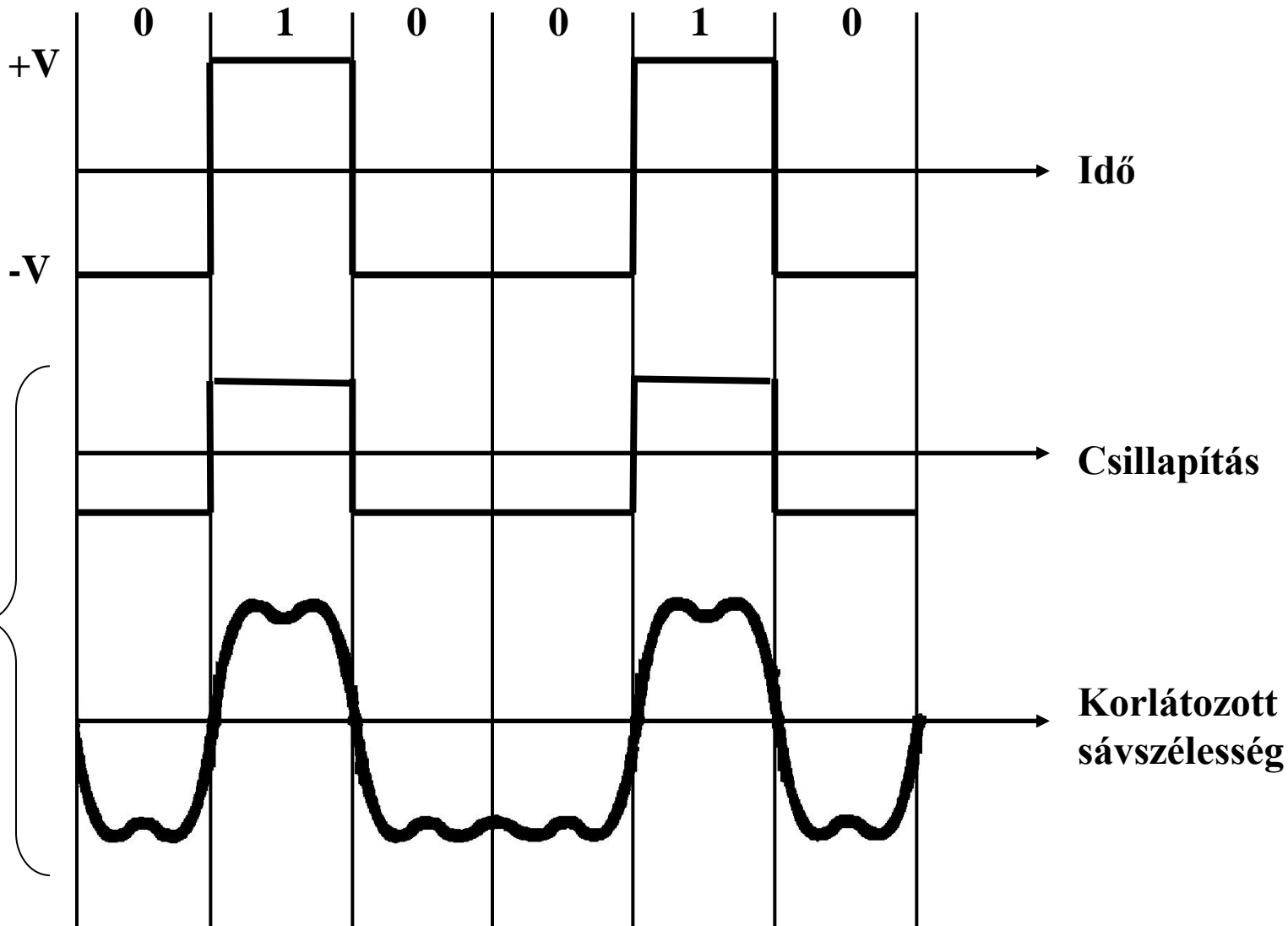
A fenti torzító hatások minden átviteli közegben fellépnek, és együttesen jelentkeznek.

A jelek ilyen hátrányos megváltozása hatással van

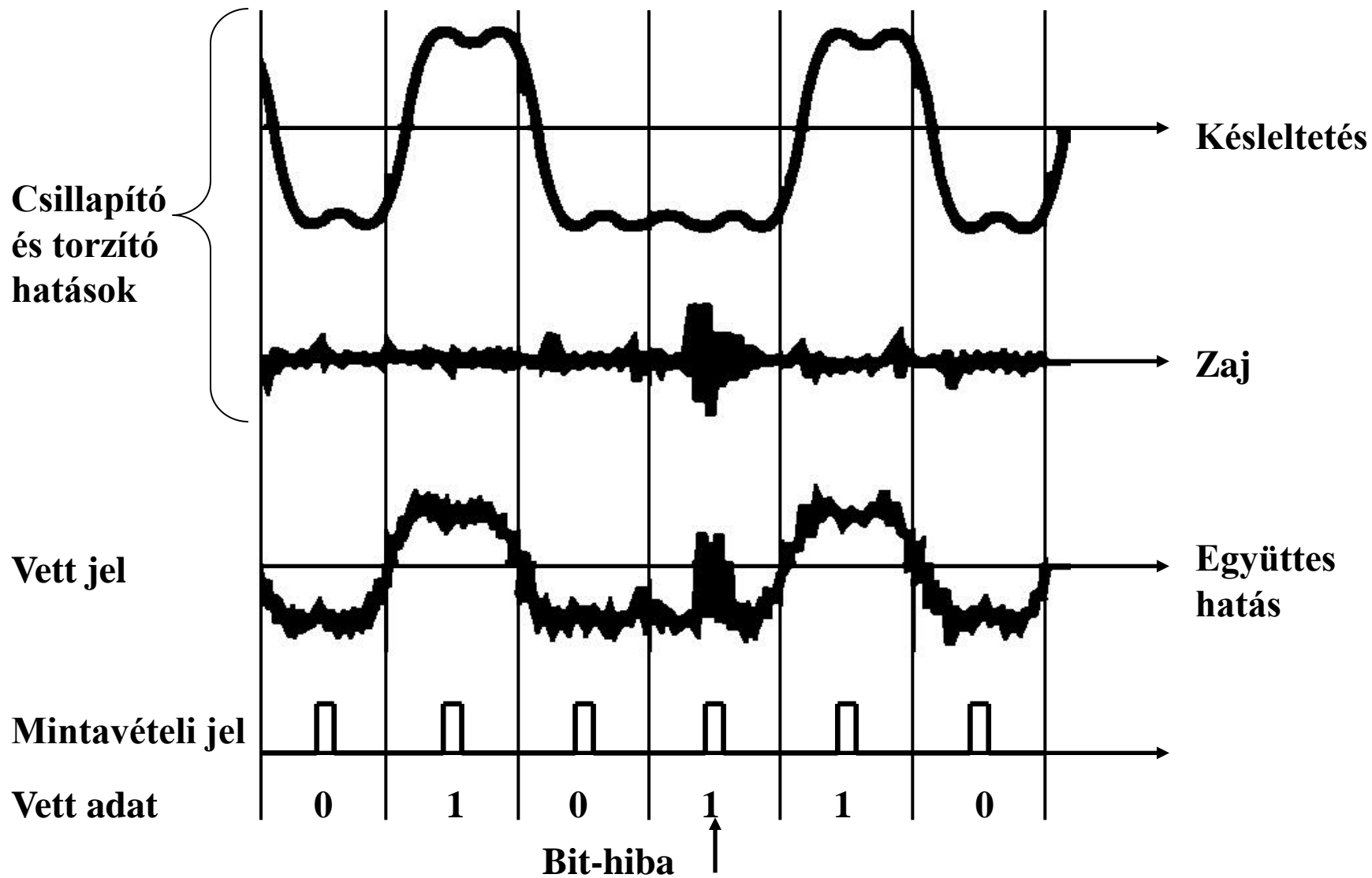
- az áthidalható távolságra,
- az átvitel sebességére,
- az átvitel megbízhatóságára.

Csillapító és torzító hatások

Átviendő
adat



Csillapító és torzító hatások



Csillapítás

A jel amplitúdója csökken a jel haladása során az átviteli közegben.

Az átviteli közeg hosszát úgy állapítják meg, hogy a jel biztonsággal értelmezhető legyen a vételi oldalon.

Ha nagyobb távolságot kell áthidalni, akkor erősítők (jelismétlők) beiktatásával kell a jelet visszaállítani.

A csillapítás frekvenciafüggő, ezért az erősítőknek frekvenciafüggő erősítéssel kell ezt kompenzálniuk.

A csillapítás és az erősítés mértékét *decibelben* (dB) adják meg:

$$\text{Csillapítás} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}$$

ahol P_1 és P_2 az átviteli közeg elején és végén mért teljesítmény (Watt).

Korlátozott sávszélesség

Minden átviteli közeg csak korlátozott frekvenciatartomány (sávszélesség) csillapításmentes átvitelére képes.

Az átviteli közeg sávszélessége és az adat átviteli sebessége között szoros összefüggés van.

Ezt az összefüggést a Fourier analízis segítségével vizsgálhatjuk.

Korlátozott sávszélesség

Fourier: Minden $g(t)$ periódikus függvény, amelynek periódusa T , egyértelműen előállítható több (végtelen) szinuszos és koszinuszos tag összegeként:

$$g(t) = \frac{1}{2} c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

ahol $f = 1/T$, a_n és b_n az n . harmónikus amplitúdói.

Ez a függvény Fourier-sora.

A Fourier-sorból a függvény rekonstruálható.

Amennyiben a jel véges időtartamú, úgy ugyanannak a jelnek az ismétlődését tételezzük fel.

Korlátozott sávszélesség

Az amplitúdók az alábbi összefüggésekkel számíthatók:

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

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

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

Korlátozott sávszélesség

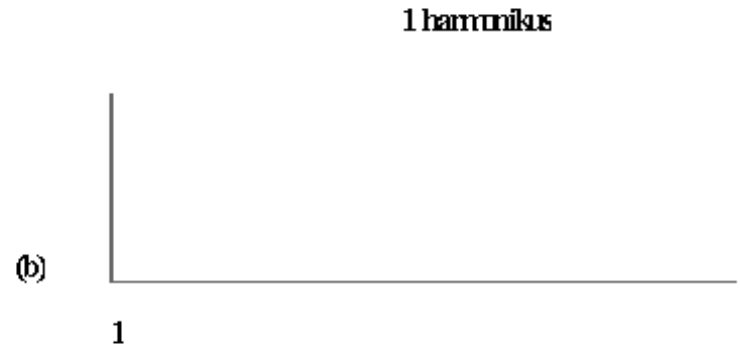
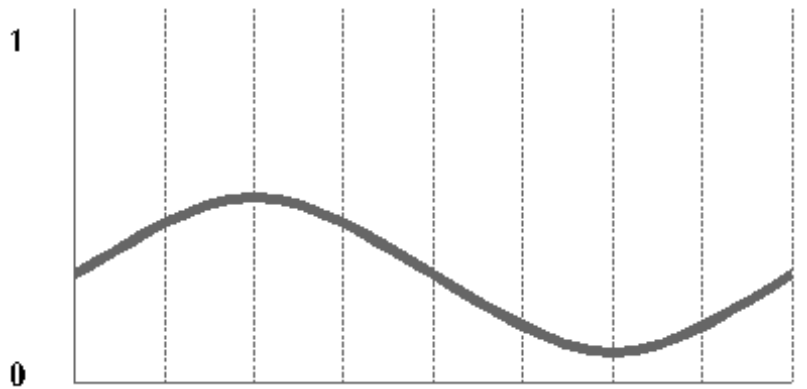
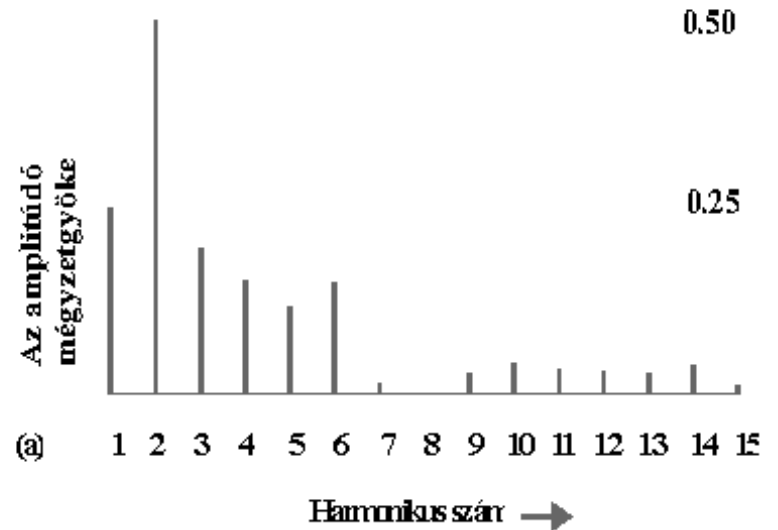
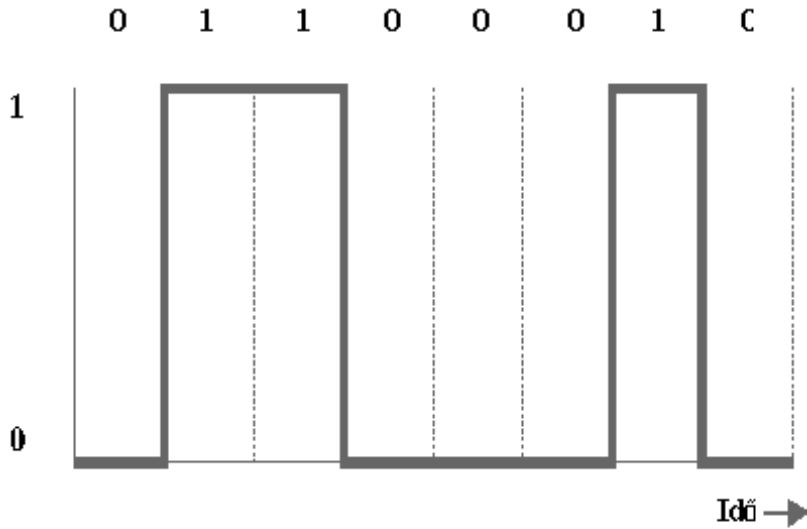
Az alábbi ábra a sorozatban átvitt az ASCII „b” = ‘01100010’ 8 bites kód Fourier együtthatóinak négyzetes középértékét ábrázolja:

$$\sqrt{\mathbf{a}_n^2 + \mathbf{b}_n^2}$$

A fenti érték négyzete és a jel által szállított energia között szoros összefüggés van.

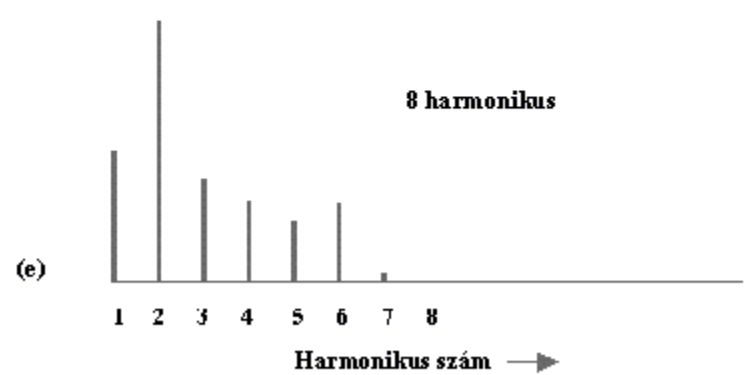
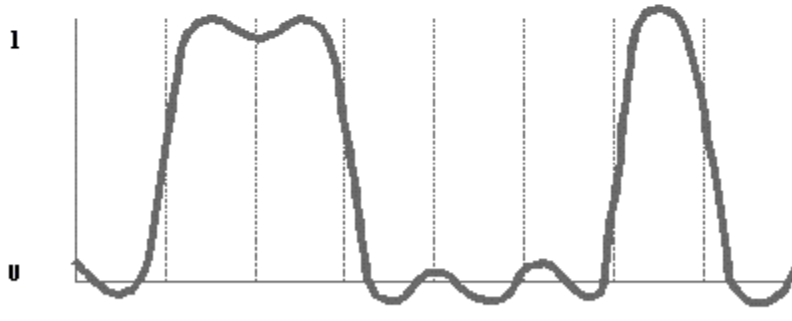
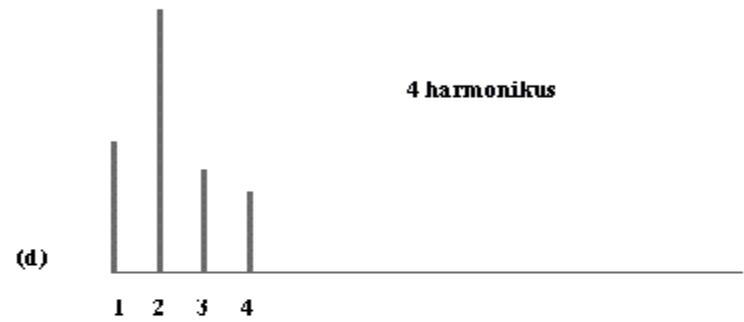
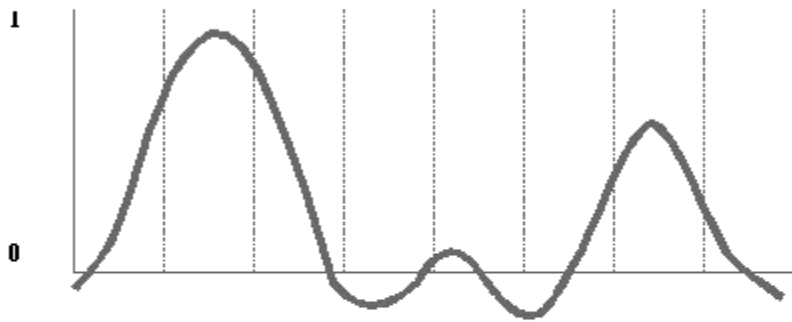
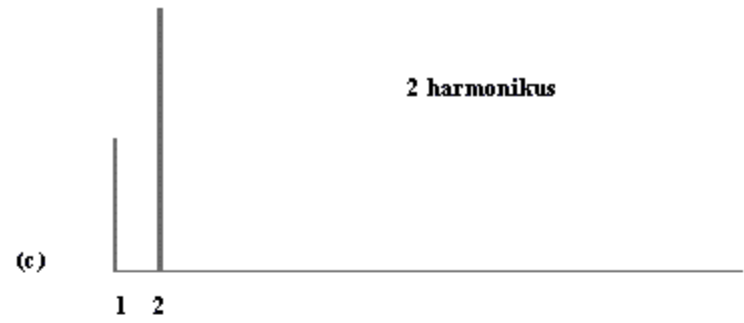
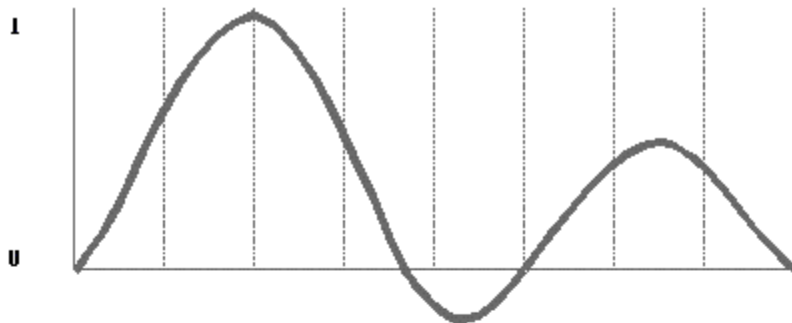
Ahogy az átvitt harmónikusok száma növekszik, úgy kapunk az eredeti jelalakra egyre jobban hasonlító jelalakot az átviteli csatorna vételi oldalán.

Korlátozott sávszélesség



Egy bináris jel és Fourier-együtthatóinak négyzetes középértéke

Korlátozott sávszélesség



Egy bináris jel és Fourier-együtthatóinak négyzetes középértéke

Korlátozott sávszélesség

Példa: átvitel a 3000 Hz -re sávkorlátozott telefonvonalon

Ha az átviteli sebesség b [bit/s], akkor az alapharmónikus frekvenciája: $b/8$.

Pl.	átviteli sebesség:	$b = 9600\text{ bps}$
	alapharmónikus frekvenciája	$b/8 = 1200\text{ Hz}$
	átvihető harmónikusok száma:	2

Az adat ebből nem állítható vissza. Látható, hogy az átviteli közeg sávszélessége (Hz-ben kifejezve) és az időegység alatt átvihető adat mennyisége között szoros összefüggés van.

Korlátozott sávszélesség

3000 Hz-re sávkorlátozott csatornán a bit-sebesség és az átvihető harmónikusok száma közötti összefüggés:

Bit/s	Alapharmónikus Hz	Átvihető harmónikusok száma
1200	150	20
2400	300	10
4800	600	5
9600	1200	2
19200	2400	1
38400	4800	0

9600 bps-nél nagyobb sebesség elérése (2 jelszint alkalmazásával) lehetetlen.

Nagyobb sebesség csak megfelelő kódolással vihető át, pl. több feszültségszint használatával.

Korlátozott sávszélesség

Csatorna maximális adatátviteli sebessége

Nyquist (1924) és Shannon (1948) elméleti összefüggései a csatorna maximális adatátviteli sebességére.

Nyquist meghatározta a maximális adatátviteli sebességet zajtalan csatornára:

Ha a jel V diszkrét értékből áll, akkor a

$$C = 2H \log_2 V \text{ bit/s}$$

ahol C a maximális adatátviteli sebesség,
 H az átviteli csatorna sávszélessége.

2-nél több jelszint alkalmazásával jelváltásonként több bitet is kódolhatunk.
Például 8 jelszintet használva egy 3000 Hz-re sávkorlátozott telefonvonalon:

$$C = 2 \cdot 3000 \log_2 8 = 18000 \text{ bit/s}$$

sebesség érhető el.

Jelkésleltetés (delay)

A **jel terjedésének ideje frekvenciafüggő**, ezért a jelek szinuszos komponensei eltérő időben érkeznek a vevőhöz, és ún. késleltetési torzítást okoznak.

A torzítás mértéke az adatátviteli sebesség növelésével növekszik.

Ennek oka, hogy bizonyos bitekhez tartozó néhány frekvencia komponens olyan mértékben késik, hogy interferál a következő bit bizonyos frekvencia komponenseivel.

Ezt a torzítást **szimbólumok közötti interferenciának** (intersymbol interference) nevezik.

Vonali zaj (noise)

Az átviteli közeg környezetéből származó zavarokat vonali zajnak nevezik.

Az átvitt jelek csillapítása miatt a zajszint összemérhetővé válhat a jelszinttel, és a jelek helyes érzékelése lehetetlenné válhat.

Az átviteli médiumok jellemezhetők az átlagos jelteljesítmény (**S**ignal) és zajteljesítmény (**N**oise) hányadosával:

$$S/N$$

Shannon meghatározta a maximális adatátviteli sebességet zajos csatornára:

$$C = H \log_2(1 + S/N) \text{ bit/s}$$

ahol

- C a maximális adatátviteli sebesség,
- H az átviteli csatorna sávszélessége,
- S az átlagos jelteljesítmény,
- N az átlagos zajteljesítmény.

Vonali zaj (noise)

Pl. H = 3000 Hz
 S/N = 1000 (tipikus)

$$C = 3000 \log_2(1 + 1000) \approx 30,000 \text{ bit/s}$$

Maximum 30,000 bit/s adatátviteli sebesség érhető el függetlenül a jelszintek számától.
A gyakorlatban a Shannon korlát megközelítése is nehéz.

Átviteli közegek

Átviteli közeg: fizikai útvonal az átviteli rendszer adója és vevője között.

A közegek lehetnek:

- vezető
- nem vezető

A kommunikáció mindkét esetben elektromágneses hullámokkal történik.

Vezető közegek:

- csavart érpáras rézvezeték
- koaxiális kábel
- optikai szál

Nem vezető közegek (Vezeték nélküli átvitel (wireless transmission)) :

- atmoszféra
- űr

Átviteli közegek

Az adatátvitel jellemzői és minősége függ:

- az átviteli közeg és
- a jelzés rendszer (signaling)

jellemzőitől.

Vezető média esetén az átvitel korlátai leginkább magától a vezető médiától függenek.

Nem vezető média esetén a továbbító antenna sáv szélessége fontosabb, mint a média az átvitel jellemzőinek meghatározásában.

(Pl. az alacsony frekvenciával működő antennák irányítatlanok, míg a nagy frekvenciával működő antennák fókuszálják a jelet és meghatározott irányba sugározzák.)

Átviteli közegek

Az átviteli rendszer tervezésekor a legfontosabb szempontok:

- a kívánt **adatátviteli sebesség** elérése és a
- megfelelő **távolság** áthidalása

Az átviteli közegre és a jelzés-rendszerre jellemző tényezők:

- **Sávszélesség (Bandwidth)**

Minél nagyobb az átvitt jel sávszélessége, annál nagyobb adatátviteli sebesség érhető el.

- **Átvitel romlás (impairments)**

Például a csillapítás csökkenti a távolságot. A csavart érpár, a koaxiális kábel és az optikai szál rendre kisebb csillapításúak.

Átviteli közegek

- **Interferencia**

Egymást átfedő frekvenciatartományokban találkozó jelek torzulnak, vagy kioltják egymást.

Vezetékes és nem vezetékes átvitelnél is előfordul.

Például vezetékes átvitelnél a közeli kábelek által kibocsátott elektromágneses hullámok feszültséget indukálnak.

A csavart érpárat kötegelik.

- **A vevők száma**

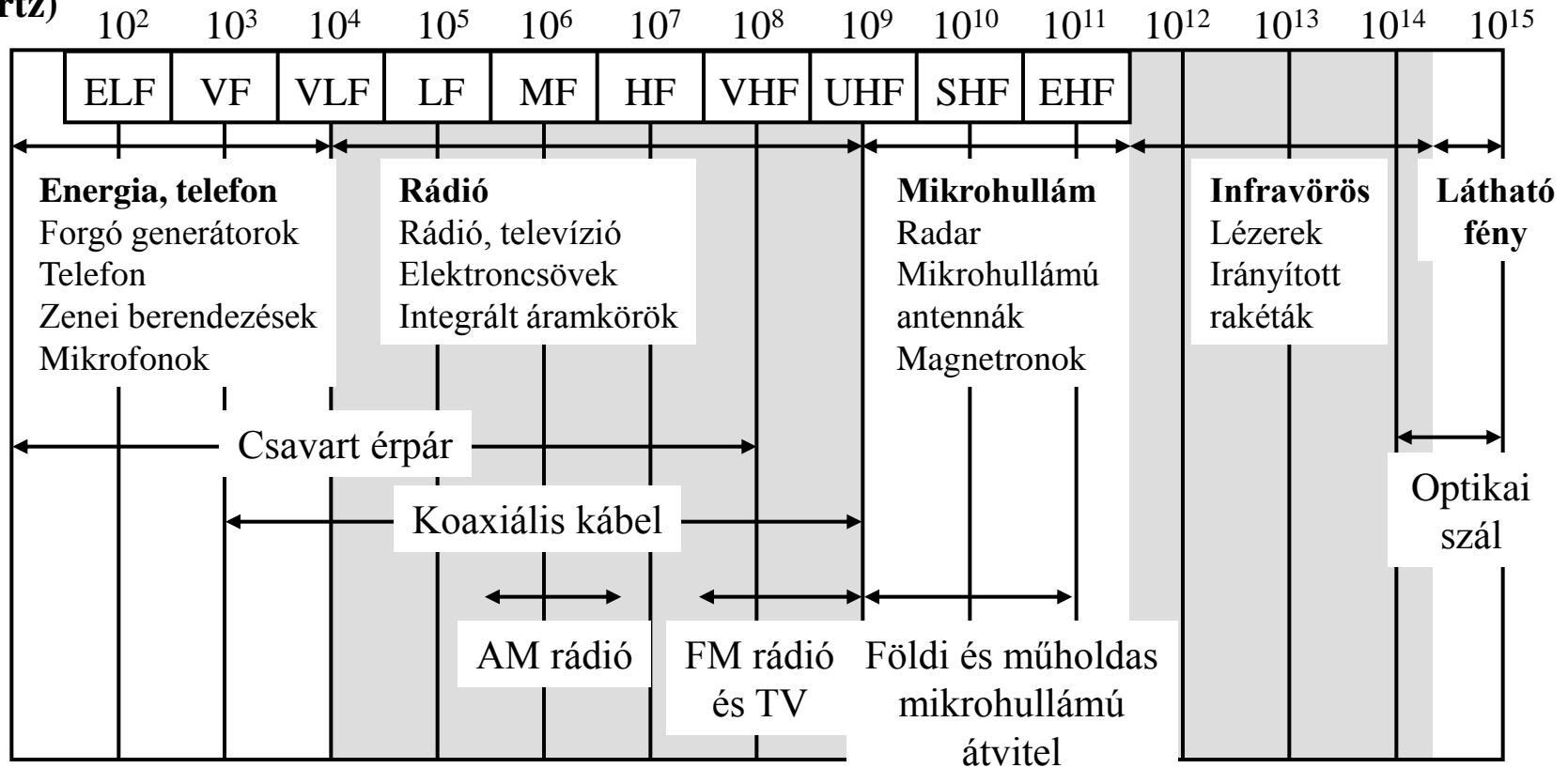
Vezetékes átviteli rendszer készíthető:

- pont-pont kapcsolatra és
- osztott kapcsolatra több csatlakozással

Minden csatlakozás növeli a csillapítást és a torzítást a vonalon, és emiatt csökken a távolság és/vagy az adatátviteli sebesség.

Átviteli közegek - A telekommunikáció elektromágneses spektruma

Frekvencia
(Hertz)



A telekommunikáció elektromágneses spektruma

Átviteli közegek

Az átviteli kapacitás (sebesség) elsősorban az áthidalt távolságtól függ, és attól, hogy **pont-pont** vagy **pont-többpont** kapcsolatban használjuk.

A pont-többpont kapcsolat átviteli jellemzőit a LAN-oknál tárgyaljuk.

A táblázat a vezetéssel működő átviteli közegek teljesítmény mutatóit adja meg nagy távolságú pont-pont alkalmazásokban:

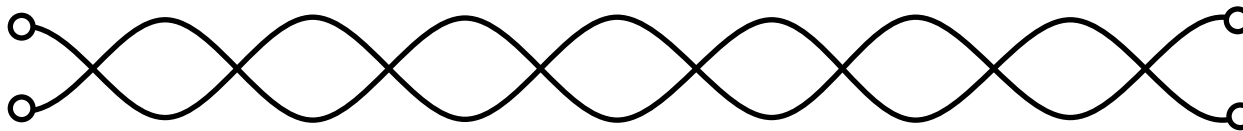
Átviteli közeg	Átviteli sebesség	Sáv-szélesség	Ismétlési távolság
Csavart érpár	4 Mbps	3 MHz	2 -10 km
Koaxiális kábel	500 Mbps	350 MHz	1 -10 km
Optikai szál	2 Gbps	2 GHz	10 - 100 km

Átviteli közegek - Csavart érpár

Fizikai jellemzők

- A legolcsóbb, legelterjedtebben használt átviteli közeg.
- Két szigetelt rézvezeték szabályos minta szerint összecsavarnak.
- Többnyire néhány csavart érpárt kötegelnek és védőszigeteléssel vonnak be.
- A csavarás csökkenti az áthallást az érpárok között és zajvédelmet biztosít.
- A csavarás hossza kicsit különbözhet az egyes érpárokbán, hogy csökkenjen az áthallás.
- A csavarás hossza nagy távolságú összeköttetésekben 50 - 150 mm között változik.
- A huzal átmérője 0.4 - 0.9 mm .

Átviteli közegek - Csavart érpár



Több csavart érpárt fognak össze, és külső szigeteléssel látnak el.

Az összefogott érpárokat árnyékolhatják (Shielded twisted pair).

Átviteli közegek - Csavart érpár

Alkalmazásai

Analóg és digitális átvitelre egyaránt használják.

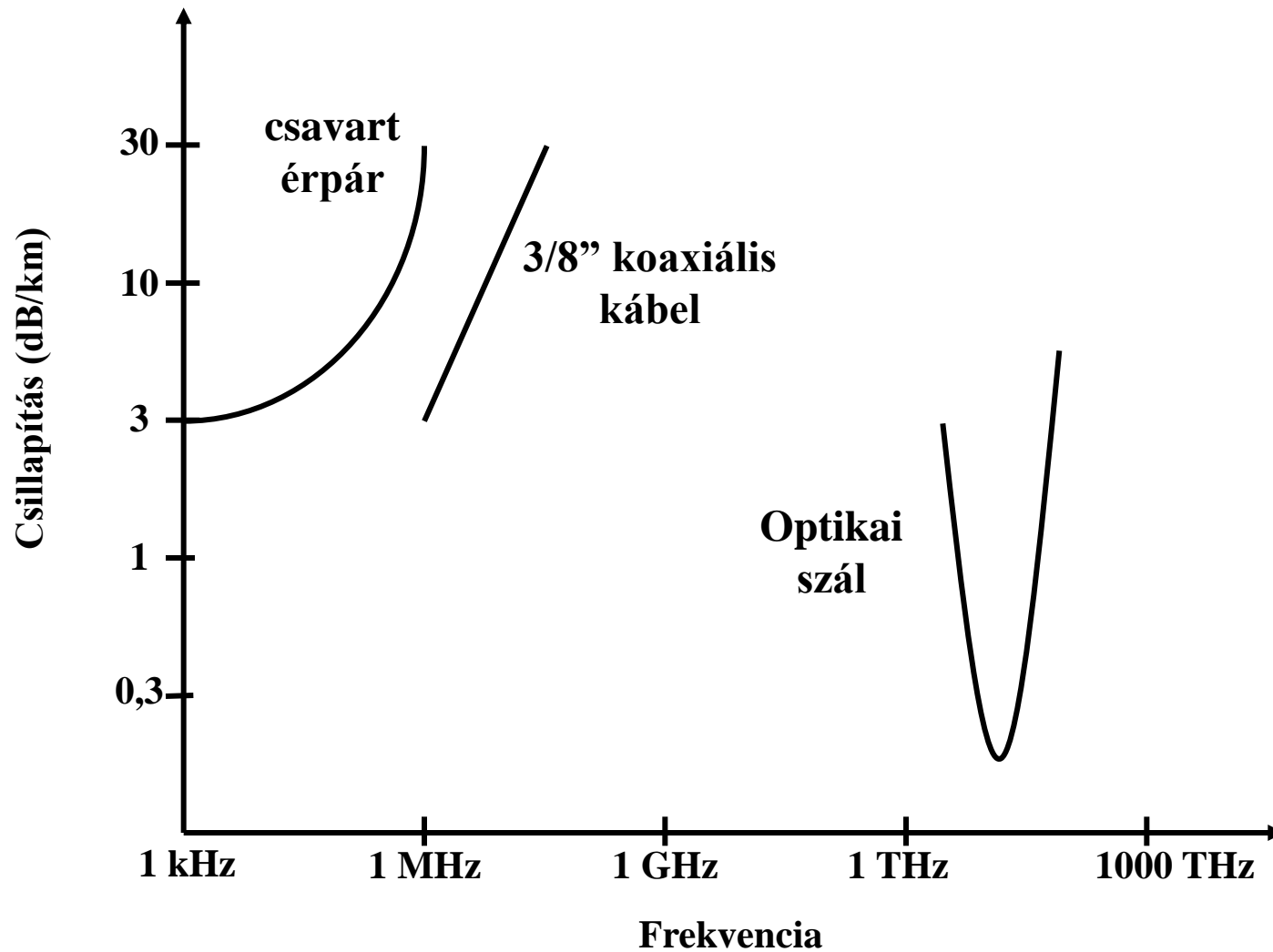
- Analóg rendszer: telefon előfizetői hurok.
- Digitális rendszer:
 - PBX rendszerek (tipikus sebesség 64 Kbps).
 - helyi hálózatok (10 vagy 100 Mbps).
 - nagy távolságú alkalmazásokban (4 Mbps)
- A legolcsóbb médium, a legkönnyebb vele dolgozni, de az adatátviteli sebessége és az áthidalható távolság a legjobban korlátozott a 3 átviteli közeg közül.

Átviteli közegek - Csavart érpár

Átviteli jellemzők

- Analóg átvitel esetén 5-6 km-enként jelerősítésre van szükség.
- Digitális jelzésnél 2-3 km-enként kell ismétlőt (repeater) használni.
- A csavart érpár csillapítása erősen függ a frekvenciától.
- Érzékeny az interferenciára és a zajra. Például a párhuzamosan futó AC hálózattól könnyen fölveszi az 50Hz energiát.
- A zavarások csökkentésére árnyékolást alkalmaznak.
- A csavarás csökkenti az alacsony frekvenciás interferenciát.
- Különböző csavarási hosszak használata a szomszédos érpárok közötti áthallást (crosstalk) csökkenti.
- Pont-pont analóg jelzéssel 250KHz sáv szélesség is elérhető (több hangcsatorna átvitele).
- Nagy távolságú digitális pont-pont kapcsolat esetén néhány Mbps érhető el.
- Rövid távolságra 100 Mbps sebesség is elérhető.

Átviteli közegek - Vezetékes médiumok csillapítása



Vezetékes médiumok csillapítása

Átviteli közegek - Csavart érpár

Árnyékolatlan (UTP) és árnyékolt (STP) csavart érpár Unshielded (UTP) and Shielded twisted (STP)

Számos épület előre behuzalozott. Az érpárakat telefon és LAN céljára használják.

Az árnyékolt változat kevésbé zavarérzékeny, mint az árnyékolatlan.

Az kábelszabványt az *Electronic Industries Association* **EIA-568** számú szabványa írja le.

Ez az ún. voice-grade kábel nem alkalmas nagy sebességű hálózati átvitelre.

Az **EIA-568-A** szabvány már tükrözi a kábelekben, a csatlakozókban és az ellenőrzési módszerekben bekövetkezett fejlődést.

Átviteli közegek - Csavart érpár

Category 3 és Category 5 UTP

Category 3. UTP kábel és csatlakozók 16 MHz átvitelre.

Korlátozott távolságra 16 Mbps sebességű átvitelt tesz lehetővé. Ez a hang-minőségű kábel nagyon sok épületben megtalálható.

Category 5. UTP kábel és csatlakozók 100 MHz átvitelre.

Korlátozott távolságra 100 Mbps sebességű átvitelt tesz lehetővé. Az új épületeket gyakran ezzel az adat-minőségű kábellel huzalozzák be.

A kétféle kábel közötti legfontosabb különbség az egységnyi hosszra eső csavarások számában mutatkozik:

- Cat3: 10 - 15 csavarás/m
- Cat5: 20 - 30 csavarás/m

Átviteli közegek - Csavart érpár

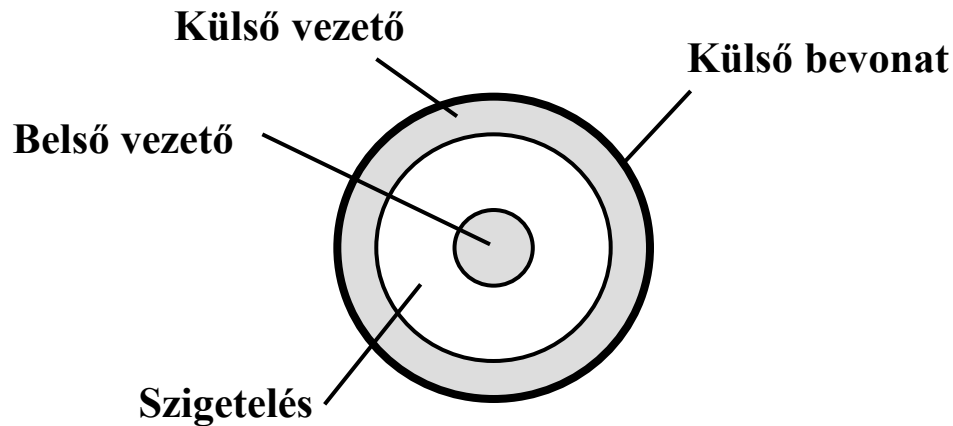
Csillapítás (dB/100 m)

Frekvencia (MHz)	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150 Ohm STP
1	2.6	2.0	1.1
4	5.6	4.1	2.2
16	13.1	8.2	4.4
25	-	10.4	6.2
100	-	22.0	12.3
300	-	-	21.4

Csavart érpárok összehasonlítása

Átviteli közegek - Koaxiális kábel

Fizikai jellemzők



Koaxiális kábel keresztmetszete

- A kábel átmérője: 10 - 25 mm.
- A koncentrikus felépítés miatt kevésbé érzékeny a zavarokra és az áthallásra, mint a csavart érpár.
- Nagyobb távolságra használható és többpontos alkalmazásban több állomást támogat a csavart érpárnál.

Átviteli közegek - Koaxiális kábel

Alkalmazásai

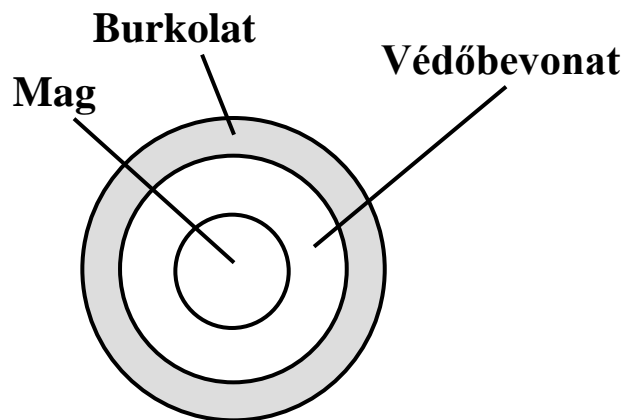
- Televízió adás továbbítása.
- Nagy távolságú telefon átvitel.
- Számítógépek összekapcsolása
- Helyi hálózatok.

Átviteli jellemzők

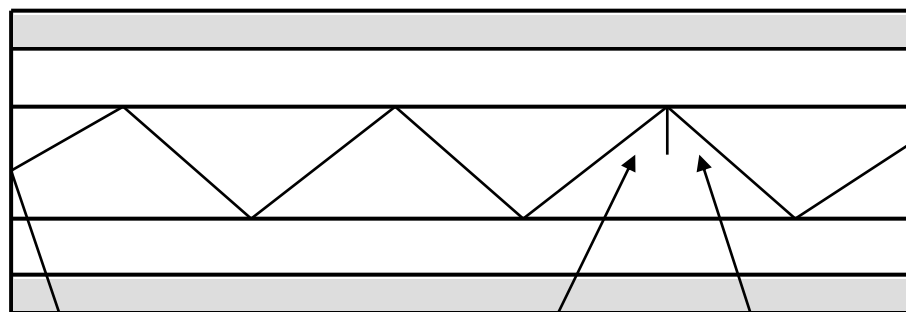
- Analóg átvitel esetén néhány km-enként szükséges erősítés. Mintegy 400 MHz-ig használható.
- Digitális átvitel esetén km-enként szükséges jelismétlő használata.

Átviteli közegek - Optikai szál

Fizikai jellemzők



Optikai szál



A kritikus szögnél
kisebb szögben
becsapódó fény-
sugarat elnyeli a
bevonat

Beesési
szög

Visszave-
rődési szög

Átviteli közegek - Optikai szál

Fizikai jellemzők

- 2 - 125 μm átmérőjű hajlékony optikai szál fénysugár továbbítására képes.
- Optikai szálakat üvegből és műanyagból is készítenek.
- A védőbevonat szintén üveg vagy műanyag, más optikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a mag.
- A külső műanyag burkolat a szennyeződés, kopás és egyéb külső hatások ellen nyújt védelmet.

Átviteli közegek - Optikai szál

Alkalmazásai

Az alábbi jellemzők pozitívan megkülönböztetik az optikai szálát a csavart érpártól és a koaxiális kábeltől:

- ***Nagyobb kapacitás***

Nagy adatátviteli sebesség érhető el (2 Gbps több 10 km-en).

- ***Kisebb méret és súly***

- ***Kisebb csillapítás***

A csillapítás kisebb, és széles frekvencia tartományban állandó.

- ***Elektromágneses izoláltság***

Külső elektromágneses hatásokra nem érzékeny, nincs áthallás. Nem sugároz energiát, ezért nem hallgatható le. Nehéz az üvegszálát megcsapolni.

- ***Nagyobb ismétlési távolság***

Kevesebb ismétlő kevesebb hibalehetőséggel és alacsonyabb költséggel jár.

A technológia egyre fejlődik: 3,5 Gbps adatátviteli sebesség 318 km távolságra ismétlés nélkül (AT&T).

Átviteli közegek - Optikai szál

Alkalmazásai

- Nagy távolságú fővonalak (trunk)
- Nagyvárosi fővonalak
- Vidéki telefonközpontok fővonalai
- Előfizetői hurkok
- Helyi hálózatok

Átviteli jellemzők

- 10^{14} - 10^{15} Hz tartományban működik, amely az infravörös tartomány egy részét és a látható spektrumot öleli át.
- 3 változatát használják:
 - több módusú (multi mode)
 - egy módusú (single mode)
 - több módusú, emelkedő törésmutatójú (multi mode graded index)

Átviteli közegek - Optikai szál

Átviteli jellemzők

Több módusú szál

A fényforrásból különböző szögben kilépő fénysugarak különböző szögben verődnek vissza a két optikai közeg határáról, ezért különböző utat tesznek meg különböző idő alatt. Ezért a fényimpulzusok torzulnak. Emiatt az adatátviteli sebesség csökken.

Egy módusú szál

A mag átmérőjét csökkentve a hullámhossz méretére, csak a tengely irányú fénysugár jut át. A fényimpulzusok nem torzulnak, nagyobb adatátviteli sebesség érhető el.

Több módusú, emelkedő törésmutatójú szál

A mag anyagának törésmutatója a tengelytől távolodva növekszik. Ez mintegy fókuszálja a fényt. E típus tulajdonságai az előző kettő közé tehető.

Átviteli közegek - Optikai szál

Optikai jeladó

Optikai érzékelő



Többmódusú



Többmódusú, emelkedő törésmutatójú

Hullámhossz és a szál átmérője 3-10 μm



Egymódusú

Átviteli közegek - Optikai szál

Átviteli jellemzők

Szál típus	Mag átmérő (μm)	Védőbevonat átmérő (μm)	Csillapítás (dB/km) (Max)			Sávszélesség (MHz/km) (Max)
			850 (nm)	1300 (nm)	1500 (nm)	
Egy módusú	5.0 8.1	85 vagy 125	2.3	0.5	0.25	5000 @ 850 nm
Emelkedő törésmuta- tójú	50	125	2.4	0.6	0.5	600 @ 850 nm 1500 @ 1300 nm
	62.5	125	3.0	0.7	0.3	200 @ 850 nm 1000 @ 1300 nm
	100	140	3.5	1.5	0.9	300 @ 850 nm 500 @ 1300 nm
Több módusú	200 vagy 300	380 vagy 440	6.0			6

Átviteli közegek - Optikai szál

Átviteli jellemzők

Fényforrás lehet:

- LED
- Lézer dióda

A LED olcsóbb, nagyobb hőmérséklet tartományban működhet és nagyobb élettartamú, mint a lézer dióda. A lézer diódával nagyobb adatátviteli sebesség érhető el.

Helyi alkalmazásokban általában 850 nm LED-et használnak. Ez relatíve olcsó és néhány km távolságra 100 Mbps átviteli sebesség érhető el.

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Az elektromágneses jelek átvitelét és érzékelését antennák végzik.

A sugárzásnak két módja van:

- Irányított
- Mindenirányú (irányítatlan)

Irányított esetben az antenna fókuszált elektromágneses sugarat bocsát ki, a vevő antennát pontosan kell pozícionálni.

Mindenirányú sugárzás sok antennával vehető.

A nagyobb frekvenciájú jelek jobban fókuszálhatók.

Három frekvencia-tartomány jöhet szóba vezetéknélküli átvitelre:

- 2 - 40 GHz (mikrohullámú átvitel) (irányított)
- 30 MHz - 1 GHz (rádiófrekvencia) (mindenirányú)
- $3 \cdot 10^{11}$ - $2 \cdot 10^{14}$ Hz (infravörös)

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

A vezetéknélküli átvitel módjai:

- Műholdas mikrohullámú átvitel
- Földi mikrohullámú átvitel
- Rádiósugárzás
- Infravörös átvitel

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Műholdas mikrohullámú átvitel

Az adatokat elektromágneses (rádió) hullámok útján továbbítják, műholdak segítségével. Az átviendő adattal modulált mikrohullámú sugarat a földi állomásról a műholdra továbbítják.

A műhold a vett sugarakat egy meghatározott földi állomásra továbbítja.

A műhold vevő-továbbító egységét **transponder**-nek nevezik.

Egy-egy műhold több transponder-rel rendelkezik, amelyek más-más frekvencia-tartományban dolgoznak. Egy-egy csatorna sáv szélessége 500 MHz körül van.

Multiplexeléssel sok-sok nagysebességű digitális adatcsatorna jelei továbbíthatók.

A műholdak geostacionáriusak, vagyis a Föld körüli keringési ideje megegyezik a Föld forgási idejével (24 óra), így a földi pontokhoz képes stacionáriusak.

A műholdak a földi adó és a vevő állomások látószögében vannak.

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Műholdas mikrohullámú átvitel

A Földre visszasugárzott sugár a fókuszálástól függően

- nagyobb területen, vagy csak egy
- kisebb területen

fogható.

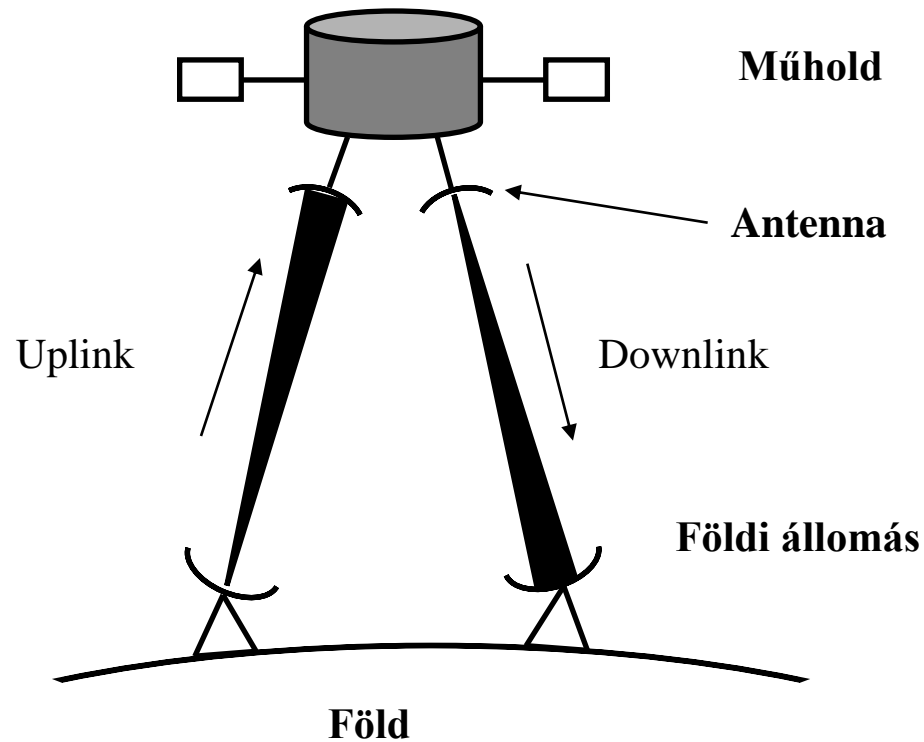
A kis területre sugárzott jel nagyobb teljesítményű, így kisebb antennával vehető (VSAT = Very Small Aperture Terminal).

A műholdas átvitelt gyakran alkalmazzák nagy távolságú hálózatok összekapcsolására, vagy nagy sebességű adatkapcsolat létrehozására egy ország különböző pontjai között.

A kapcsolat a műhold és a földi állomás között mindig duplex, amelyet más-más frekvencián működő csatornákkal valósítanak meg.

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Műholdas mikrohullámú átvitel



Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Földi (Terrestrial) mikrohullámú átvitel

Olyan földi állomások közötti átvitelre használják, amikor lehetetlen vagy túl költséges vezetékes átviteli közeg kiépítése.

A földi mikrohullámú állomásoknak egymás látósugarában kell lenniük.

Az elektromágneses sugarak sokkal több zavaró hatásnak vannak kitéve, mint a műholdas átvitel esetén.

Az áthidalható távolság mintegy 50 km.

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Az átvinni kívánt információ típusa és az átviteli csatorna típusa

Az átvinni kívánt információ lehet

- analóg (beszéd)
- digitális (adat)

Az átviteli csatorna lehet

- analóg (telefonvonal, mikrohullám)
- digitális (optikai kábel, koaxiális kábel alapsávú átviteli mód)

Bármilyen típusú információ bármilyen típusú csatornán átvihető.

Digitális adat átvitele analóg csatornán:

Az analóg hordozó jelet a digitális adatnak megfelelő módon modulálják (amplitúdó-, frekvencia-, fázismoduláció, vagy ezek kombinációja).

Jellemző alkalmazás a modemekben: digitális adat átvitele analóg kapcsolt telefonhálózaton.

A vétel helyén a modulált analóg jelből vissza kell állítani a digitális információt.

Átviteli közegek - Vezetéknélküli átvitel

Az átvinni kívánt információ típusa és az átviteli csatorna típusa

Digitális adat átvitele digitális csatornán:

Alapsávú átvitelnek nevezik.

A bináris információ a feszültség, az áram vagy a fény intenzitás meghatározott értékéhez (érték tartományhoz), vagy ezek megváltozásához van kötve.

Moduláció nem szükséges, de a hatékony átvitel és a biztonságos érzékelés érdekében sokféle kódolási technikát használnak (Manchester, 4B5B, stb.)

Analóg jel átvitele analóg csatornán:

Beszéd átvitele analóg telefonhálózaton, vagy televízió műsor sugárzás.

Analóg jel átvitele digitális csatornán:

Jellemző alkalmazás beszéd átvitele digitális telefonhálózaton (ISDN).

Az analóg jelet meghatározott időközönként mintavételezik, kvantálják, majd digitális csatornán továbbítják. A vétel helyén a digitális jelből visszaállítják az analóg jelet.

Irodalom

- Stallings W.
Data and Computer Communications, Fifth Edition. Prentice-Hall, Inc. 1997.
- Fred Halsall.
Data Communications, Computer Networks and Open Systems, Fourth Edition.
Addison-Wesley Publishers Ltd. 1996.
- Andrew S. Tanenbaum.
Számítógép-hálózatok, Panem Könyvkiadó Kft. 1999.