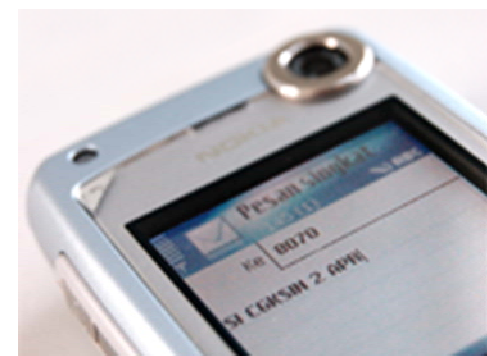
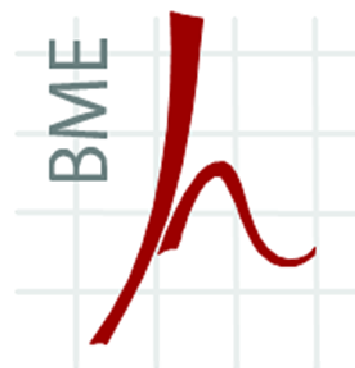
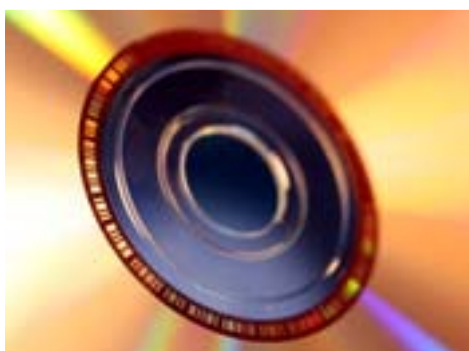




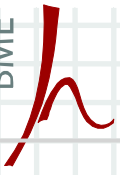
„FIZIKAI SZINTŰ” KOMMUNIKÁCIÓ 1.

Bitfolyamok továbbítása hírközlő
csatornákon

Dr. Simon Vilmos
adjunktus

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

svilmos@hit.bme.hu



Az anyag beosztása (1)

- Bevezető áttekintés, hálózatok és rendszerek példái.
- Alkalmazások és szolgáltatások. Követelmények a hálózattal szemben.
- Protokollarchitektúrák, referenciamodellek.
- A fizikai szintű kommunikáció alapjai.

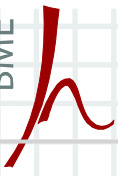
Gyakorlat.

- Többszörös hozzáférés.
- LAN-ok, LAN-ok összekapcsolása.
- BWA (WPAN, WLAN, WMAN).

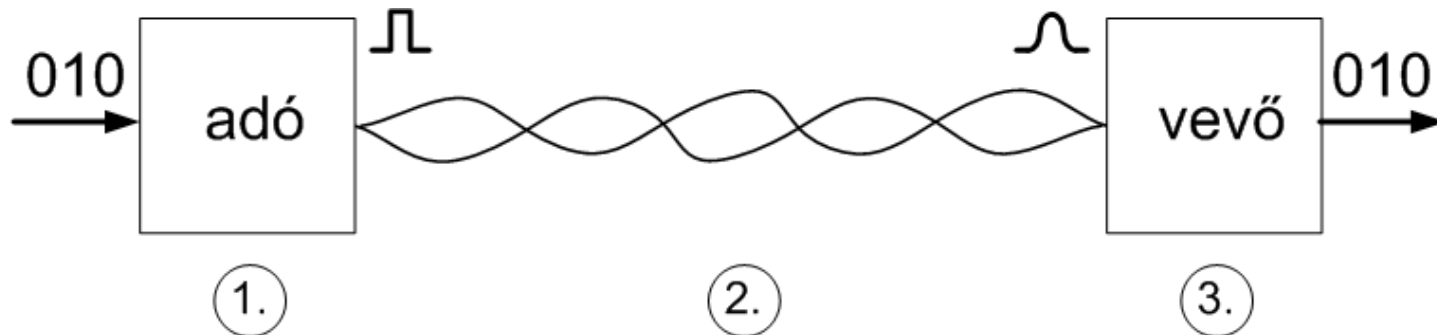
Gyakorlat.

- Áramkörkapcsolás, csomagkapcsolás, hívásvezérlés, címzés.
- Routing.
- Ütemezés.
- IP.

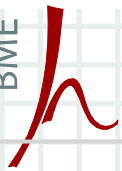
Gyakorlat.



Mi az, hogy „fizikai szintű” átvitel?

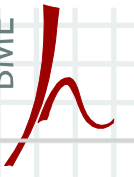


- A hálózatnak az a funkcionalitása, amely két csomópont között szimbólumok (bitek) továbbításával foglalkozik.
- Az adó a **szimbólumokat jelalakokkal** reprezentálja.
- Ezek kerülnek továbbításra a kommunikációs csatornán.
- A továbbítás során **torzulnak** és **zajok, zavarok** adódnak hozzájuk.
- A vevő feladata: a vett jelet kiértékelve, a kapott szimbólumsorozat a lehető legjobban megfeleljen az adó által küldött sorozatnak.



Miről lesz szó ebben a részben?

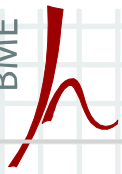
- **Bitfolyamok továbbítása hírközlő csatornákon**
 - *Alapfogalmak*
 - *Átvitel sávhatárolt csatornán*
 - *Átvitel zajos csatornán*
- **Digitális modulációs eljárások**
 - *ASK, FSK, PSK*
- **Többcsatornás átvitel multiplexeléssel**
 - *FDM, TDM*
- **Hírközlő csatornák a gyakorlatban**
 - *(Réz)vezetékes csatornák*
 - *Sodrott érpáras kábelek, strukturált kábelezés*
 - *Koaxiális kábelek*
 - *Fényvezető (üvegszálas) csatornák*
 - *Vezeték nélküli csatornák*



Szimbólumok átvitele hírközlő csatornán: alapfogalmak

- **bit, bitsebesség** (információátviteli sebesség) – bit/s
 - **szimbólum, szimbólum-sebesség, jelzési sebesség** – baud, Bd
 - **összefüggés a bitsebesség és a szimbólum-sebesség között:** hány bitnyi információt hordoz egy szimbólum?
 - *Bináris jelátvitel esetén: a két sebesség megegyezik.*
 - *Többszintű jelátvitel esetén: a bitsebesség többszöröse lehet a jelzési sebességnek.*
 - *Pl. 4-szintű impulzusoknak bitpárokat lehet egyértelműen megfeleltetni:*
 - *1. szint: 00*
 - *2. szint: 01*
 - *3. szint: 10*
 - *4. szint: 11*
- tehát kétszerese a jelzési sebességnek a bitsebesség.*

Példa: telefonos modem, 2400bit/s, 600 baud



Növelhetjük-e tetszőlegesen a szintek számát?

- Elvileg igen, de

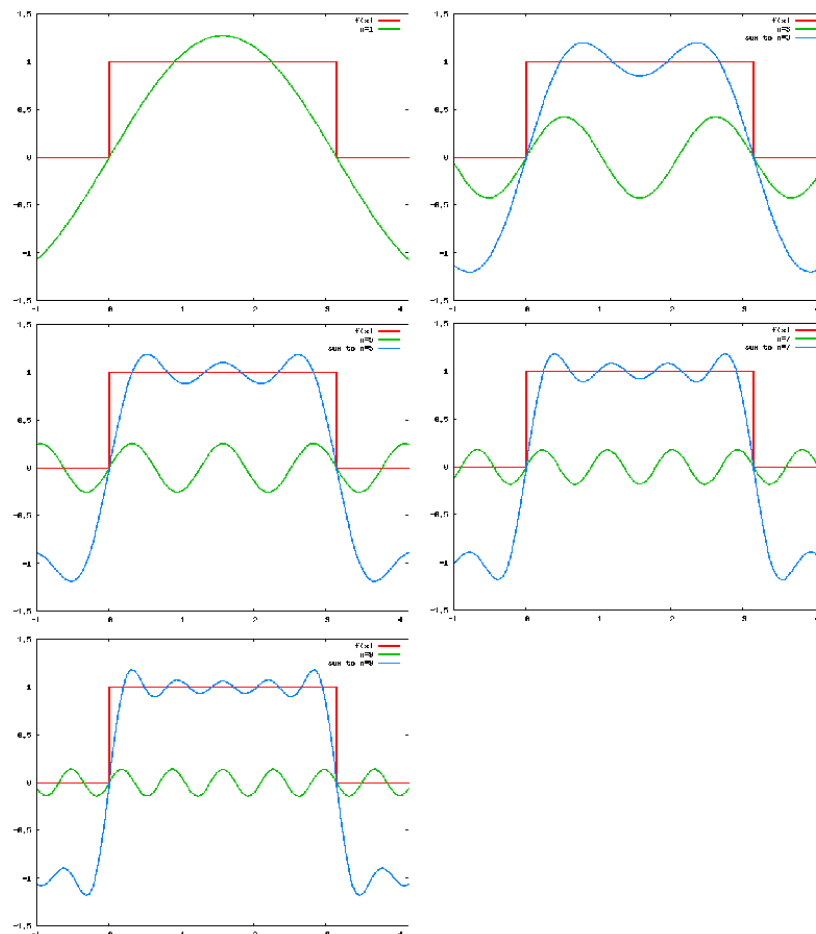
a gyakorlatban a csatornák

- **sávkorlátozottak**, ezért torzítják, elkenik a jeleket
- **zajok és zavarok forrásai**: döntéskor hibákat okoznak

- Minél több szint: annál kisebb a „távolság” a szomszédos szintek között, és annál nagyobb az esély a tévesztésre

Négyszögjel közelítése szinuszos hullámokkal

- Minden **periodikus** függvény: előállítható **szinuszos és koszoszos** függvények **összegeként**
- A legkisebb összetevő frekvenciája megegyezik az eredeti jel ismétlődési frekvenciájával
- Az egyes összetevők frekvenciája ennek az alaphfrekvenciának egész számú többszöröse



*:nem lesz számonkérve

Fourier-sorfejtés matematikája*

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n2\pi f_0 t) + b_n \sin(n2\pi f_0 t)] = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

Ahol

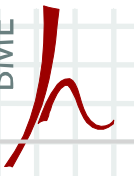
T_0 jelenti a függvény periódus idejét,

$f_0 = \frac{1}{T_0}$ a periodikus jel alapharmonikusa,

$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ a periodikus jel alap körfrekvenciája.

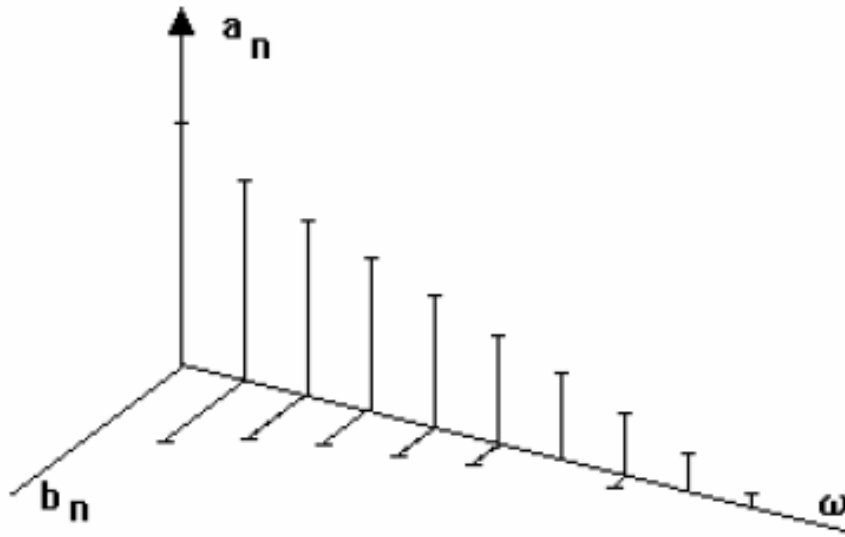
Az egyes együtthatók az alábbi módon határozhatók meg:

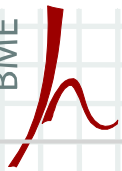
$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) dt \quad a_n = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad b_n = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$



Fourier-sorfejtés*

- Folytonos, periodikus időfüggvényekhez **egy sorozat pár rendelhető**, és egyben **megadható az oda-vissza transzformáció is**
- A sorozatok frekvenciákhoz köthetők, tehát az idő (t) tartományból itt lehet áttérni az ω illetve az f tartományba

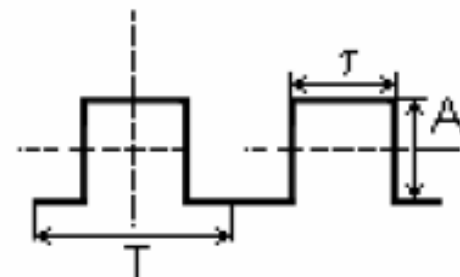




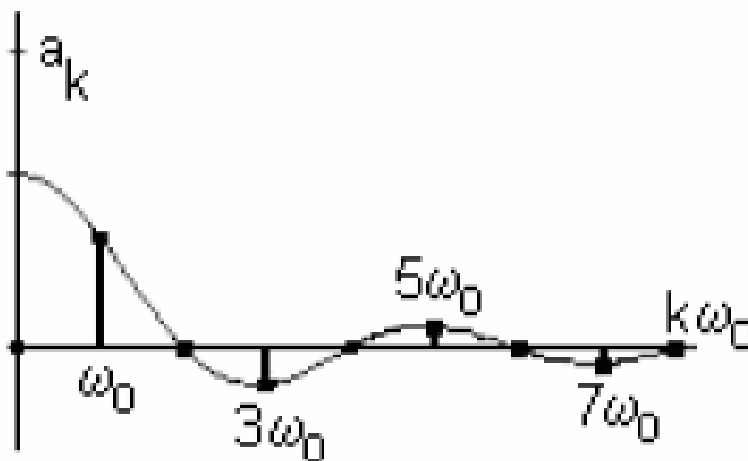
Négyszögjel esetén*

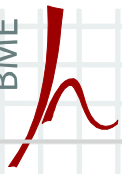
- Csak koszinus összetevők (ha origóhoz képes szimmetrikus):

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A \cos\left(\frac{2\pi}{T} kt\right) dt$$



- Frekvenciaspektrum felharmonikusokból:



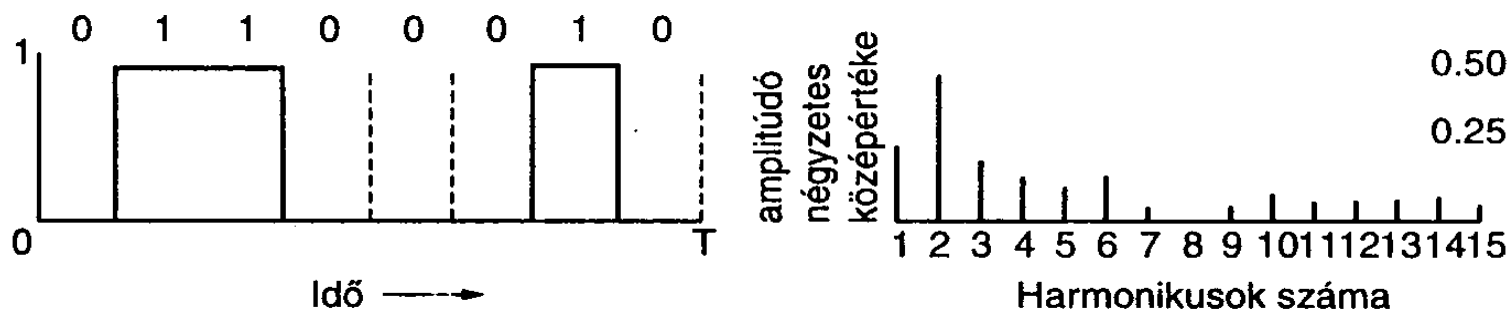


Négyszögjelek átvitele sávhatárolt csatornán

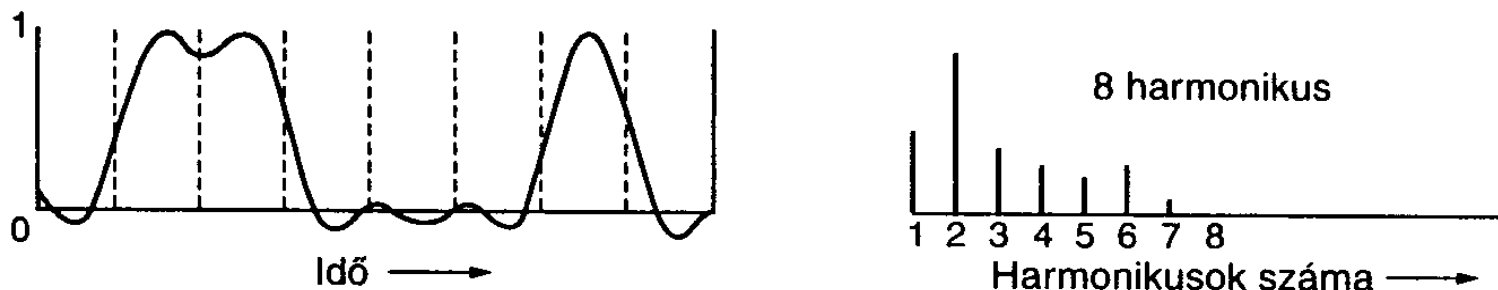
Fourier-sorfejtés:

tagjai a „harmonikusok” (alap- és felharmonikusok)

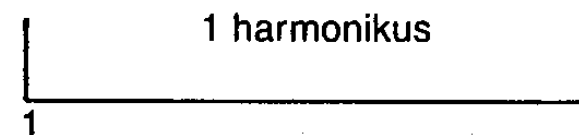
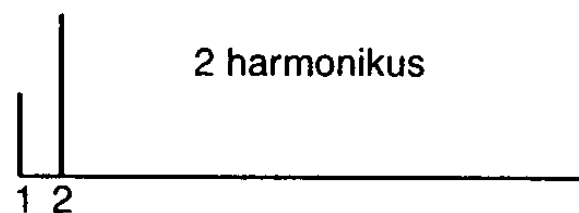
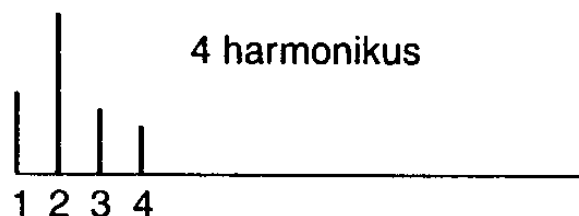
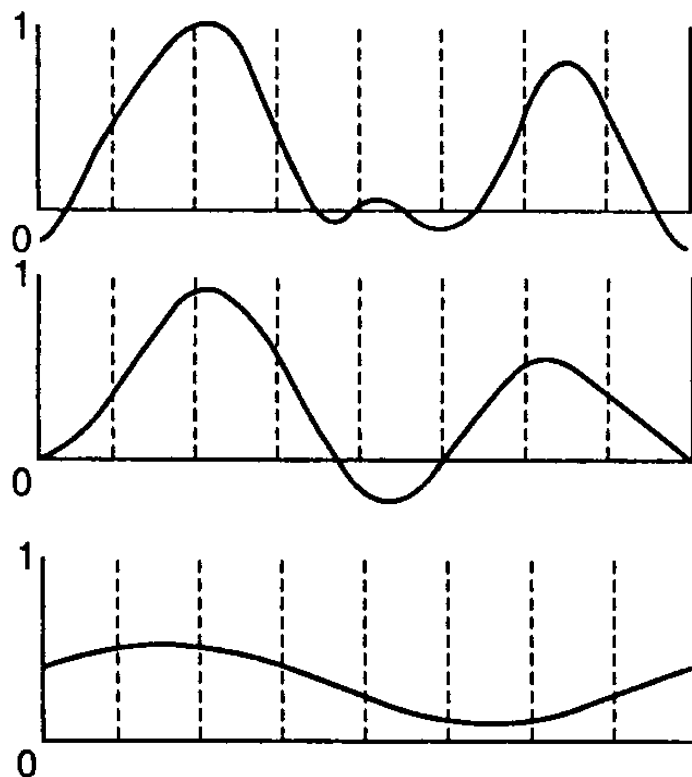
Eredeti jel (nem sávhatárolt csatorna)

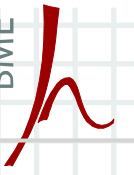


Sávhatárolt csatorna (csak 8 harmonikus)



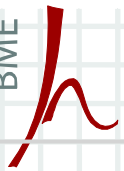
Diszperzív csatorna





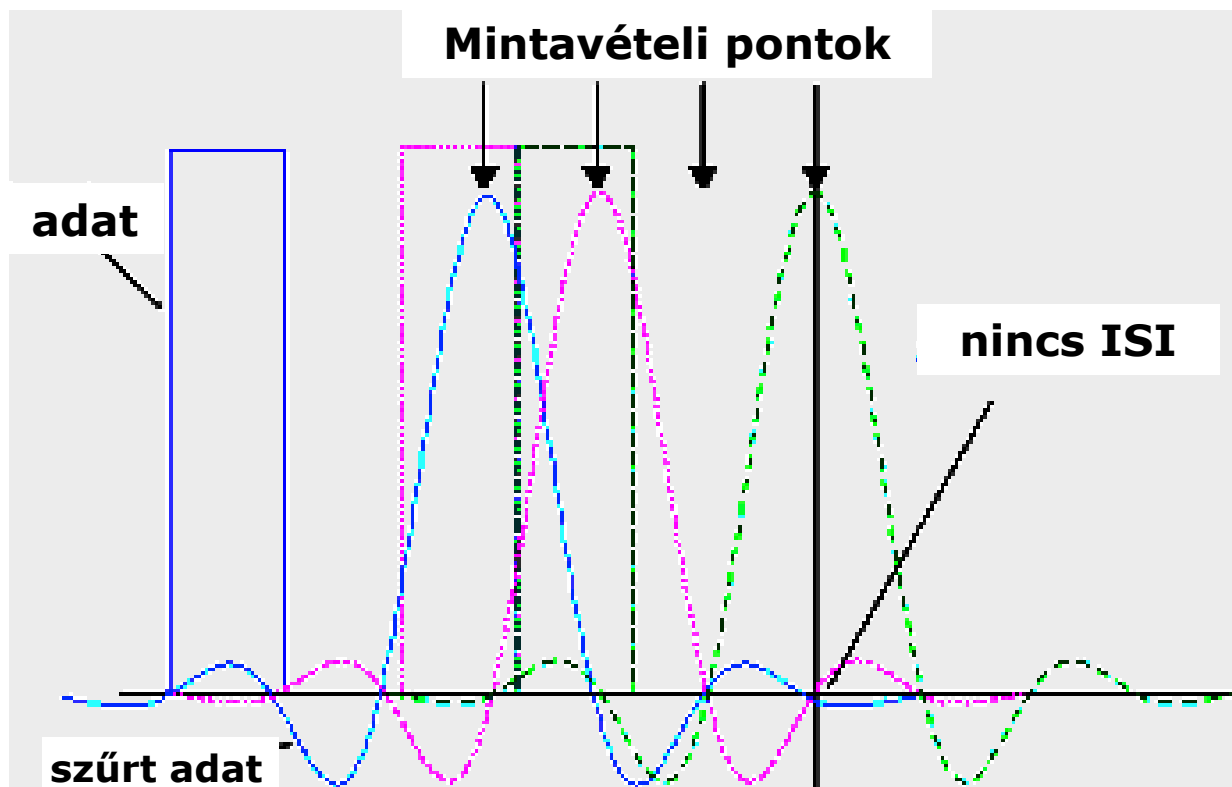
Mekkora sáv szélességre van szükség a jel átviteléhez?

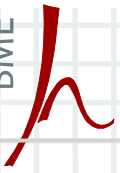
- Mi a probléma?
 - *Minél kisebb a sáv szélesség, annál jobban „elkenődik” a jel:*
diszperzív csatorna
 - *Ha csak egy impulzusunk lenne*
 - *elég nagy szétkenődést is megengedhetnénk*
 - *elég lenne, ha a jel közepén vett minta jól megkülönböztethető lenne a jel hiányától*
 - *Impulzussorozat esetén a szomszédosak egymásra hatnak és elrontják a döntést*
 - A jelenség neve: **szimbólumközi áthallás – inter-symbol interference (ISI)**
- A megoldás elve (**Nyquist-módszer**):
 - *Úgy csökkentjük a sáv szélességet, hogy közben tartsuk kézben a szimbólumközi áthallást*
 - *Nem baj, ha van, de ne befolyásolja a helyes döntést*



A szimbólumközi áthallásmentesség feltétele az időtartományban

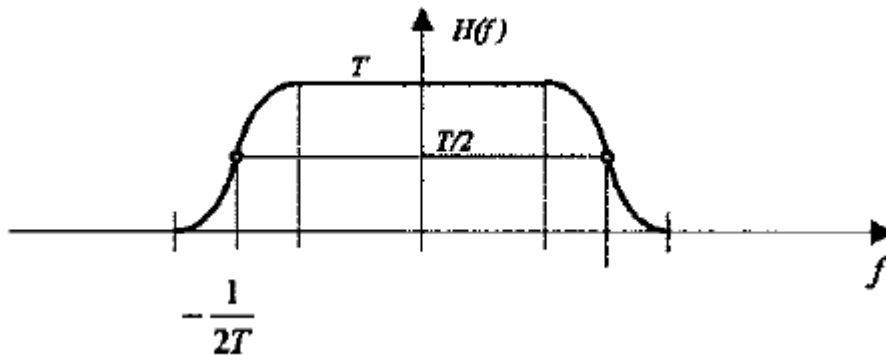
A mintavételi időpontban valamennyi szomszédos jelből származó minta értéke legyen zérus!



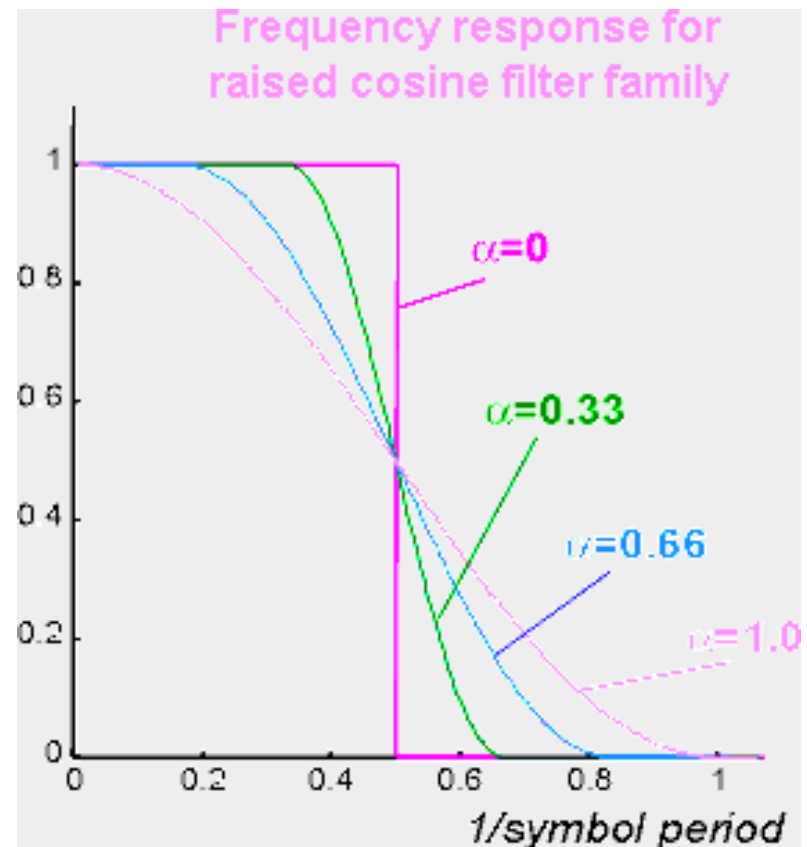


A szimbólumközi áthallás-mentesség feltétele a frekvenciatartományban

A jel spektruma a döntés előtt legyen szimmetrikus a jelzési frekvencia felére (Nyquist-frekvencia)

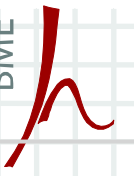


A Nyquist-kritériumnak eleget tevő spektrumalakok



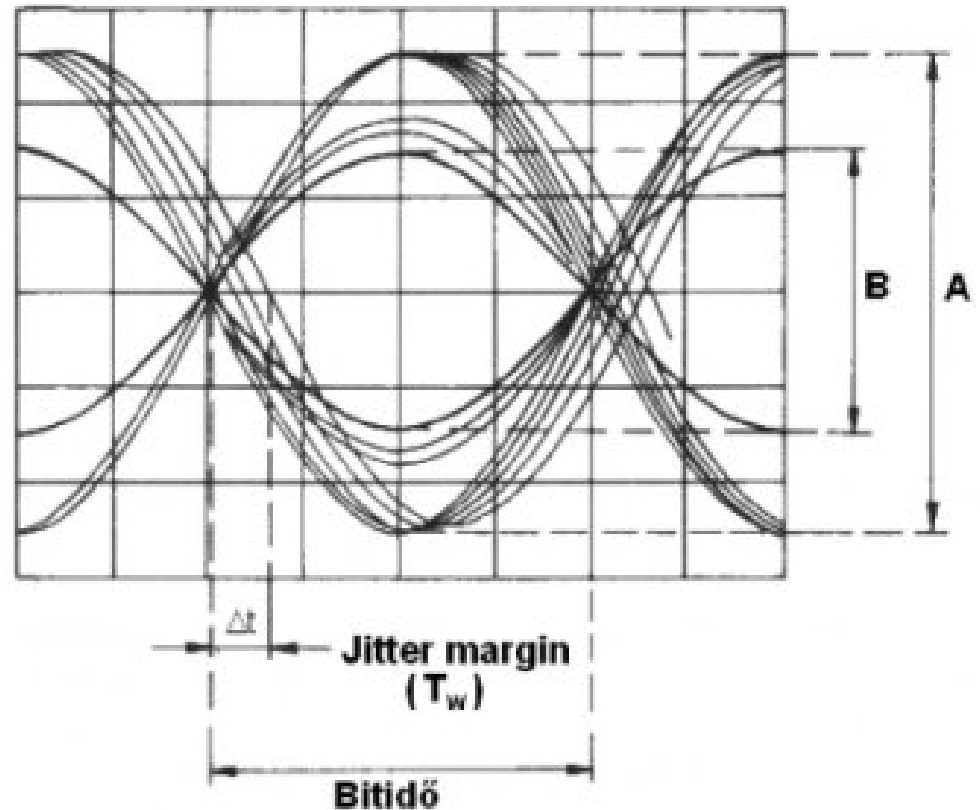
A szimbólumközi áthallás-mentesség feltétele a frekvenciatartományban

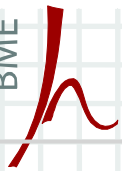
- Megjegyzés
 - az előbbi feltétel egy **bebizonyítható tétel**, amellyel azonban itt nem tudunk foglalkozni
- Hogyan teljesítsük a Nyquist-feltételt?
 - a döntésre kerülő jel spektrumára kell, hogy teljesüljön
 - az átviteli úton több helyen formálódik a spektrum
 - a vevőben lévő szűrővel kell „helyretenni” az alakját, amelynek emiatt nem feltétlenül Nyquist-alakúnak kell lennie
- **A szükséges legkisebb sáv szélesség tehát a jelzési frekvencia felének felel meg**, pl.
 - 1 MBaud-os átviteli sebesség – 0,5 MHz elvi sáv szélesség
 - pl. a szabványos telefoncsatornán, melynek sáv szélessége 3100 Hz, 6200 Baud-dal lehet elvileg kommunikálni
 - ez többszintű jelátvitelnél ...



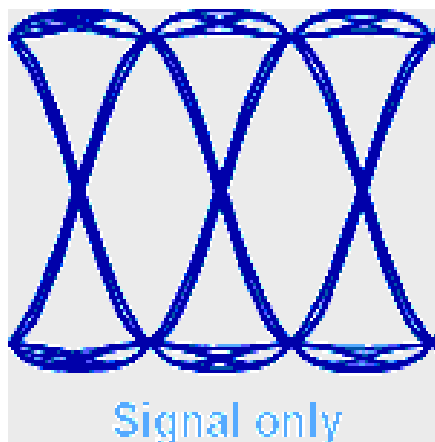
A szemábra (eye diagram)

- Oszcilloszkópos megfigyelés: egymás utáni jelalakok egymásra rajzolódnak
- Ha egy szimbólumidőre húzzuk szét a vízszintes tengelyt: szemre emlékeztet
- A szem tisztasága, nyitottsága a mintavételi időpontban jelzi, hogy mekkora esélyünk van a helyes döntésre



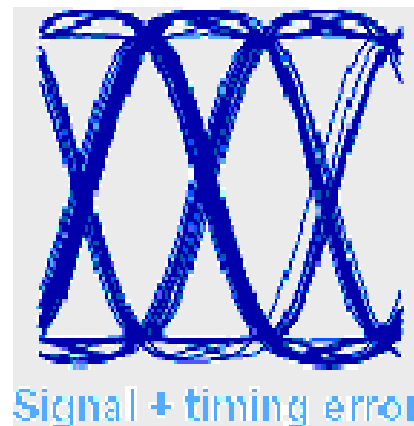


„Szemábrák”

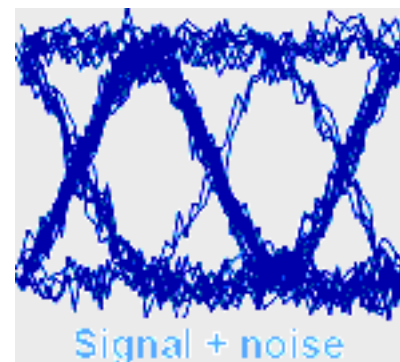


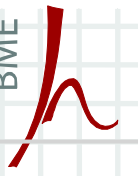
csak hasznos jel

**jel és
időztítési hiba**



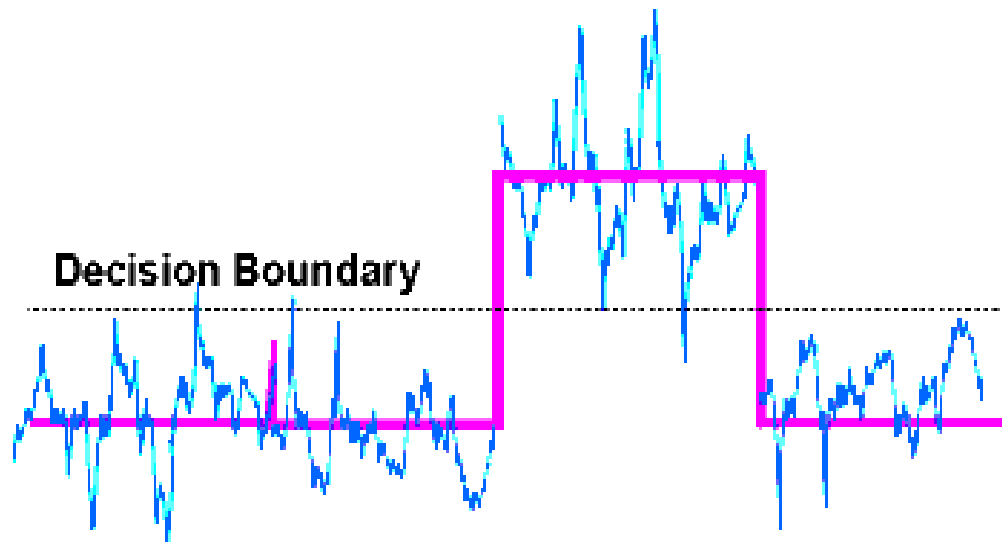
jel és zaj





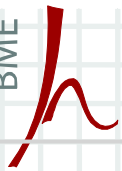
Átvitel zajos csatornán

- Az ábra bináris: szimmetrikus jel és „ráülő” 0-átlagú additív zaj
- Ésszerű: döntési küszöb a fél jelmagasságon, ezzel összehasonlítva a mintákat döntünk
- Az additív zaj miatt tévesztések, minél nagyobb a zaj, annál többször.



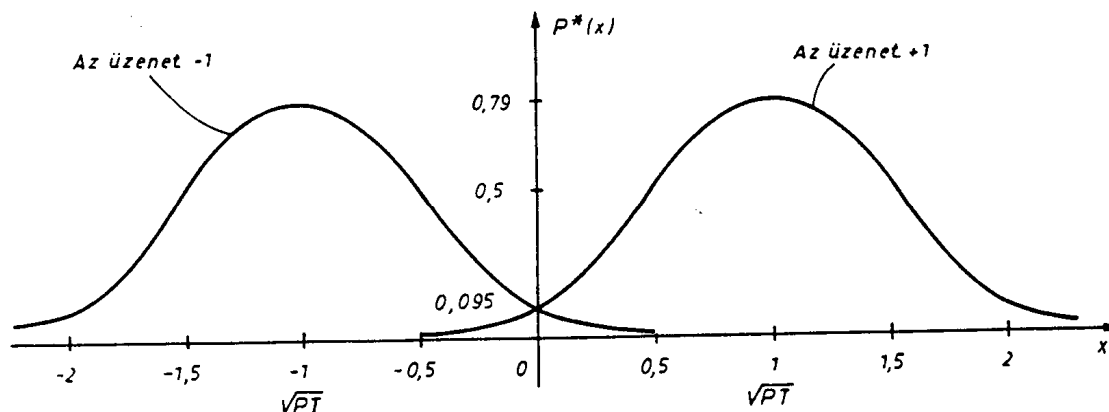
Átvitel zajos csatornán, hibavalószínűség (1)

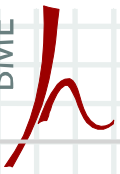
- A hibavalószínűség könnyen kiszámítható, ha a modellünk
 - *additív zaj*
 - *a zajminták nulla várható értékű, Gauss-i eloszlásúak*
 - *a zaj teljesítménysűrűség-spektruma konstans („additív fehér Gauss zaj”-modell)*
 - *Teljesítménysűrűség-spektrum: S [W/Hz]*
- Hibavalószínűség: sűrűségfüggvények „farkai” alatti területek (l. az ábrát)



Átvitel zajos csatornán, hibavalószínűség (2)

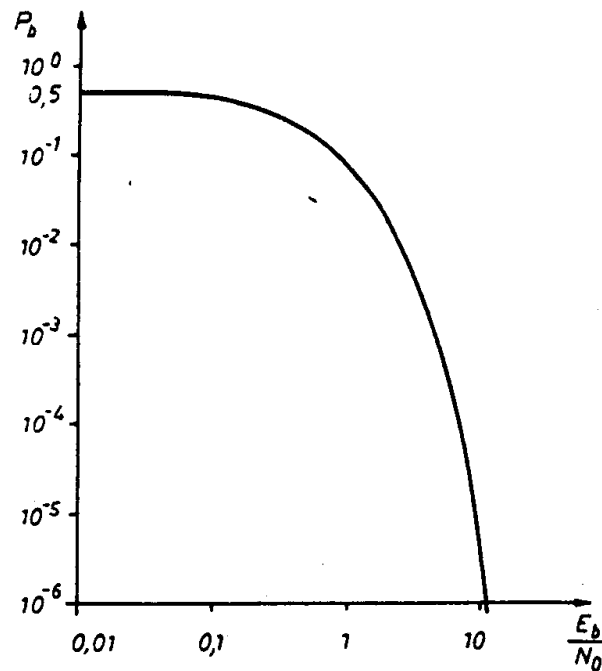
- A jel+zaj valószínűség-sűrűségfüggvényei a jel nagyságával eltoltt Gauss-sűrűségfüggvények
- A döntési küszöb ebben az esetben 0
- A küszöb alatt -1-re, felette +1-re döntünk
- Az ellentétes jelalakra „ráült” zaj-sűrűségfv.-ek „átlógó” része alatti terület a hibavalószínűség

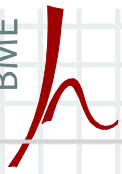




Átvitel zajos csatornán, hibavalószínűség (3)

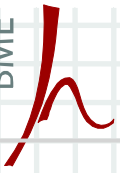
A hibavalószínűség kiszámítható és a Gauss-hibaintegrál segítségével kiértékelhető a jelenergia/zajtelsítvány sűrűségfüggvényében





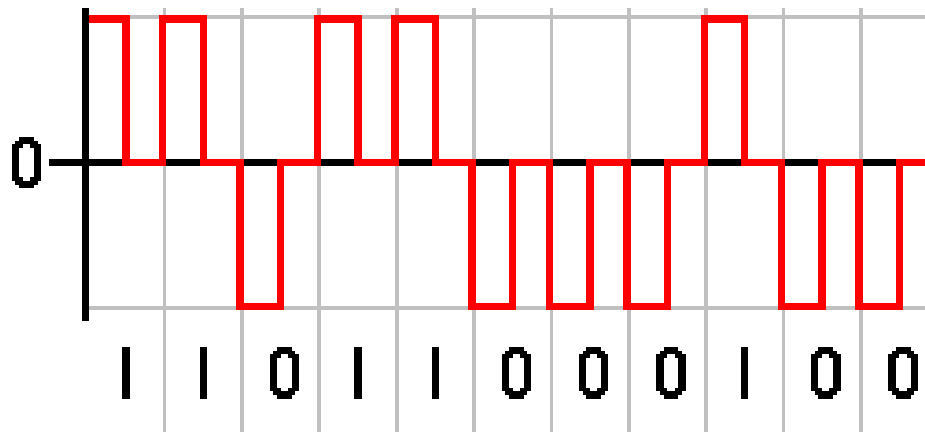
További gyakorlati kérdések impulzusátvitelnél

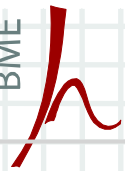
- Nullafrekvenciás komponens
 - Ne legyen DC tartalma a jelnek
 - Ezért kell bipoláris kódolás: AMI (Alternate Mark Inversion), értékkészlet: -1, 0, +1.
- Bitszinkron biztosításához órajel kinyerése
 - Ezért ne legyenek hosszú egyforma bitsorozatok
- Néhány, a gyakorlatban használt „vonali” kódolás (a következő ábrán)
- Vonali kódolás: **digitális alapsávi moduláció!**



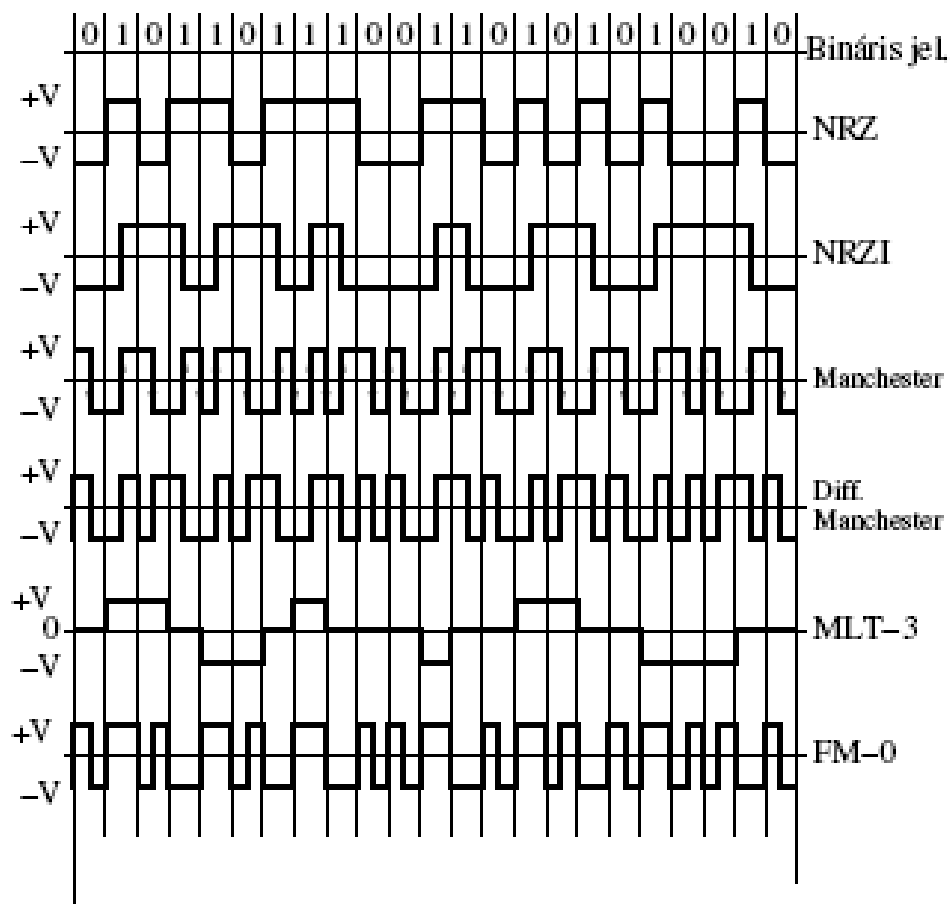
Return-to-zero (RZ)

- Két impulzus között mindig visszatér a nulla jelszintre
 - Még ha több 1 vagy 0 is jön egymás után
- Szinkron biztosított, de kétszer akkora sáv szélesség kell ugyanakkora adatátviteli sebességhez, mint pl. a NRZ-nek
- Van DC komponens hosszú 0 vagy 1 sorozatok esetén





„Vonali” kódolások (1)



non-return-to-zero (NRZ)

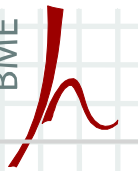
NRZ inverted (NRZI)

Manchester

Diff. Manchester

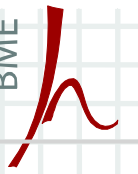
más kód 1.

más kód 2.



„Vonali” kódolások (2)

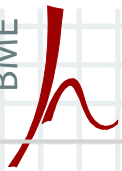
- **RZ**
 - + : megoldott a szinkron
 - : kétszeres sávszélesség kell mint NRZ-nek
- **NRZ**
 - + : fele annyi sávszélességre van szüksége mint pl. a Manchesternek vagy RZ-nek
 - : hosszú 1-es, v. 0-ás sorozat esetén a váltások hiánya miatt szinkronvesztés
- **NRZI**
 - + : ugyanaz
 - : Az 1-eseknél mindig van váltás a bitidő közepén, hosszú 0-ás sorozat itt is problémát okoz
 - Megoldás: bit stuffing pl. USB (6 1-es után 0)
- **Manchester**
 - 1-esnél felfelé, 0-ásnál lefelé váltás a bitidő közepén, egymás utáni azonos biteknél a bithatáron mindig váltás
 - Pl. Ethernetnél, RFID-nél használják
 - + : jól szinkronizálható, nincs DC komponens
 - : kétszeres bitsebességet igényel mint NRZ
- **Differenciális Manchester**
 - + : polaritás nem fontos, csak tranzíció: hibavédettebb
 - 0-nál a bitidő elején is és közepén is van váltás
 - Optikai tárolásra, token ring



„Vonali” kódolások (3)

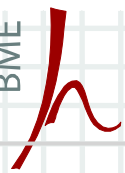
- MLT (Multi-Level Transmit)-3
 - 3 feszültségszint: ciklusban mozog ha 1, 0-nál marad ugyanazon a szinten
 - + : kevesebb EM interferencia, kisebb sávszélesség

- FM-0
 - minden bit határon váltás, 0-nál középen is
 - + : szinkron, nincs DC komponens
 - : több sávszélesség

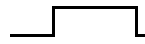
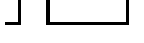


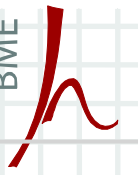
4B/5B kódolás

- Hatékonyabb kódolás: összeegyeztetni a jó szinkronizálhatóság és a kis sávszélesség-növekedés feltételeit
- 4B/5B kódolás
 - a bemeneti bitfolyam minden bit-négyesét 5 bites kóddal helyettesítjük
 - a 16 helyett 32 kombinációnk van, ezért megtehetjük, hogy:
 - csak azokat használjuk, amelyek jó tulajdonságú sorozatot eredményeznek
 - legalább 2 váltás a blokkban
 - a többiből 8-at használunk speciális jelzésekre, a fennmaradó 8-at nem használjuk fel (köv. ábra)



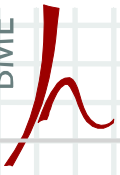
A 4B/5B kódolás illusztrációja (+NRZI)

Vonal állapot jelző				Adat szimbólumok			
	00000	Q	Quiet		11110	0	0000
	11111	I	Idle		01001	1	0001
	00100	H	Halt		10100	2	0010
					10101	3	0011
					01010	4	0100
					01011	5	0101
	11000	J			01110	6	0110
	10001	K			01111	7	0111
					10010	8	1000
					10011	9	1001
					10110	A	1010
					10111	B	1011
					11010	C	1100
					11011	D	1101
					11100	E	1110
					11101	F	1111
Keret kezdet jelző							
	11000	J					
	10001	K					
Keret vég jelző							
	01101	T	Terminator				
Vezérlési állapot jelzők (Logikai 0/1 megfelelői)							
	00111	R	Reset				
	11001	S	Set				



Bitfolyamok strukturálása

- Keretezés **hibavédelmi** és **szinkronizálási** célokra
- Szinkronizálás
 - bitszinkron
 - byte-szinkron
 - keretszinkron
- Hibajelzés, hibajelző kódok
 - Paritásellenőrzés
 - Ciklikus redundancia-ellenőrzés (CRC)



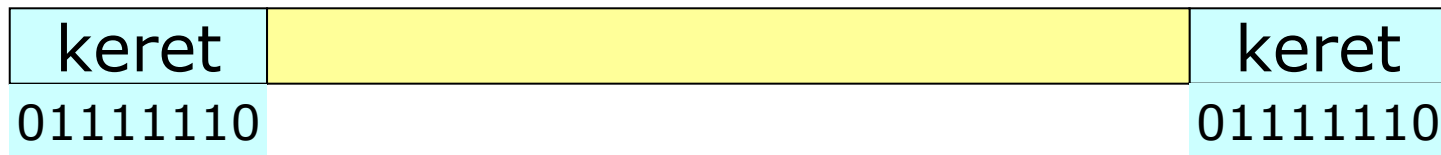
Aszinkron és szinkron átvitel

- A „start-stop” átvitel: aszinkron mód, órajel nem kerül továbbításra

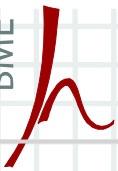


- jól használható például text továbbításhoz (pl. telex gép), csak kis sebességre

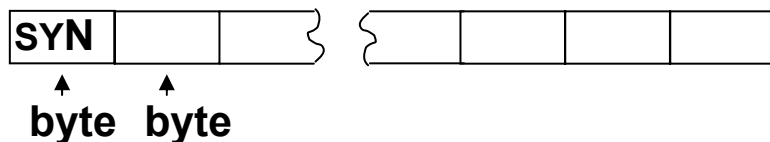
- Szinkron átvitel



- bitbeszúrás



Szinkronizálás, hibajelzés



**Byte-
szinkronizálás**



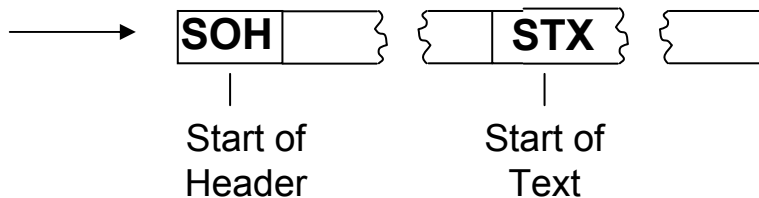
**Vezérlő és
ellenőrző
információ átvitele**

HEADER – fejrész

TRAILER – pl. ellenőrző kód

PAYLOAD – „hasznos teher”

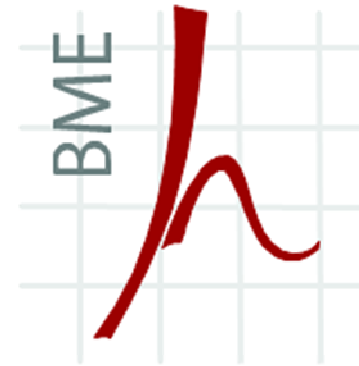
**Fejrész
azonosítása**



Hibajelző kódok: -paritás
- ciklikus kód
(CRC – cyclic redundant code)

Miről volt eddig szó?

- Alapfogalmak
 - bitsebesség, jelzési sebesség, többszintű jelzések
- A véges sáv szélesség hatása impulzussorozat átvitelénél
 - szimbólumközi „áthallás”
 - a szimbólumközi áthallástól mentesség feltétele: Nyquist-kritérium, minimálisan szükséges sáv szélesség
- A zaj hatása
- További gyakorlati kérdések



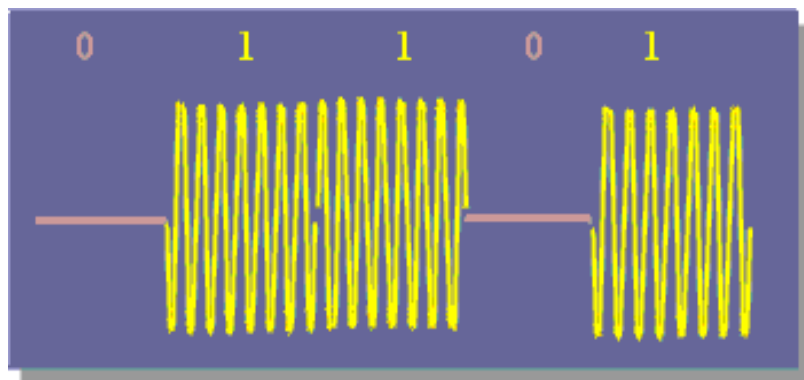
„Fizikai szintű” kommunikáció

Bitfolyamok továbbítása hírközlő
csatornákon

2. rész: Modulációs eljárások

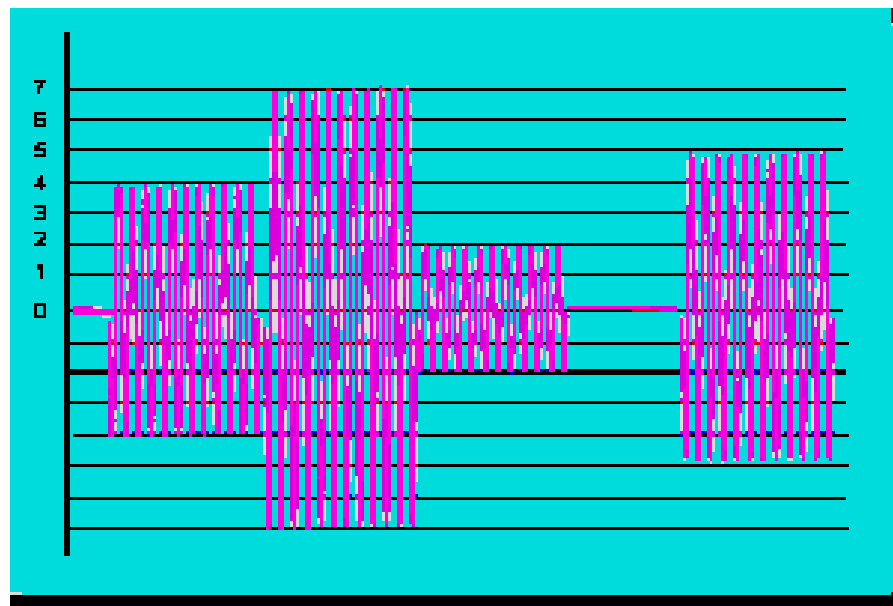
- „Moduláció”: a szimbólumsorozat továbbítására egy – a jelzési sebességnél általában nagyobb frekvenciájú - **szinuszos vivőt** használunk.
- A vivő valamely jellemzőjét változtatjuk a szimbólumoknak megfelelően, így
 - amplitúdóját: **ASK** (amplitude-shift-keying) – ki-bekapcsolásos moduláció (eredetileg: „billentyűzés”),
 - frekvenciáját: **FSK** (frequency-shift-keying),
 - fázisát: **PSK** (phase-shift-keying).
- A jel spektruma áthelyeződik **az „alapsávból” a vivő környezetébe.**

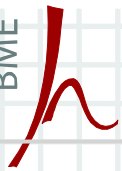
ASK (Amplitude Shift Keying) - amplitúdó moduláció



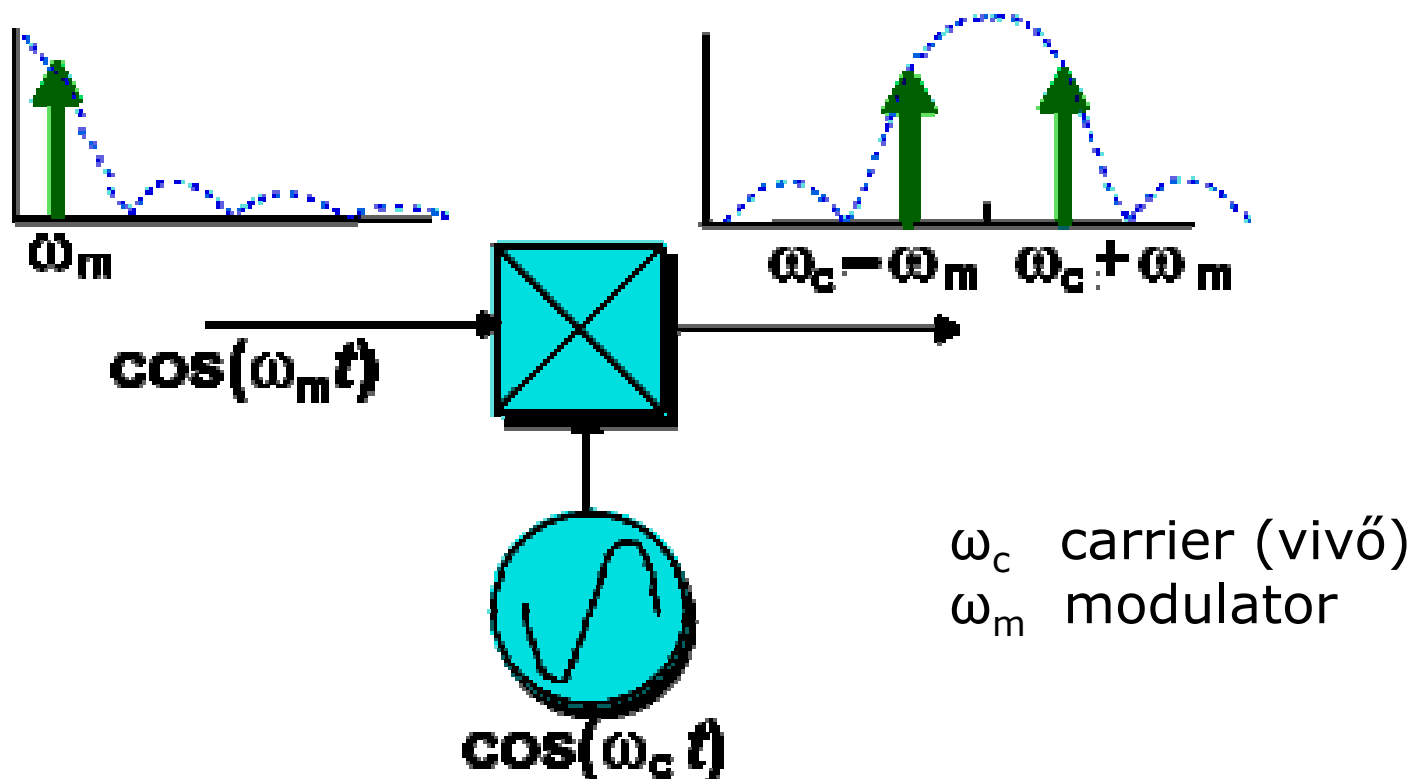
← „0”: nincs vivő, „1”: van
(on-off-keying,
ki-bekapcsolásos moduláció)

Többszintű
ASK
-magas jel-zaj
viszony kell hozzá!

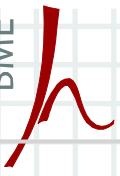




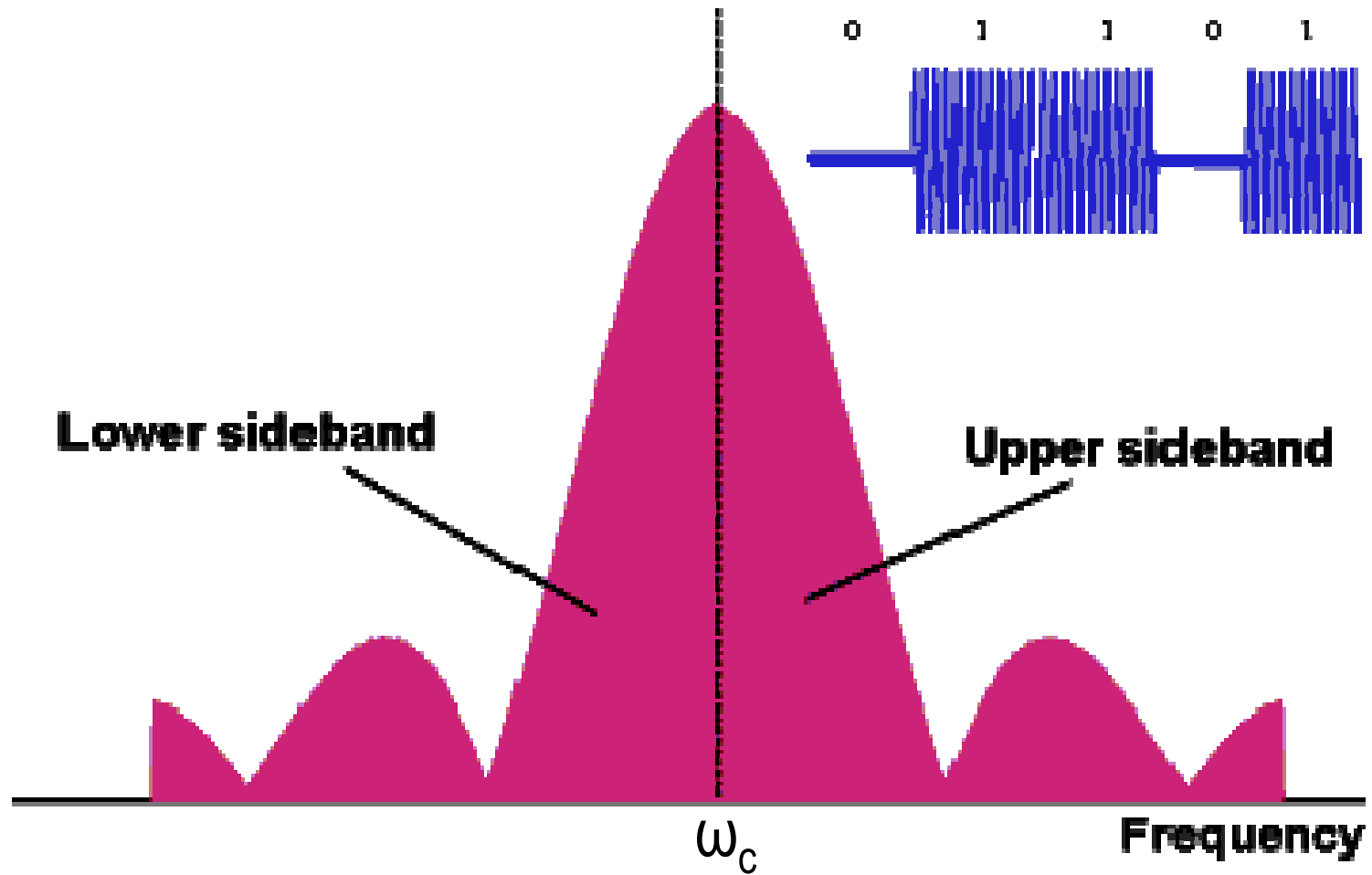
ASK jel spektruma: illusztráció szinuszos jelkomponenssel



$$\cos \omega_m t \times \cos \omega_c t = 0,5 \cos (\omega_c - \omega_m) t + 0,5 \cos (\omega_c + \omega_m) t$$



ASK jel spektruma



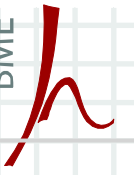
ASK előnyei-hátrányai

+:

- ASK moduláció és demoduláció is egyszerű, olcsó

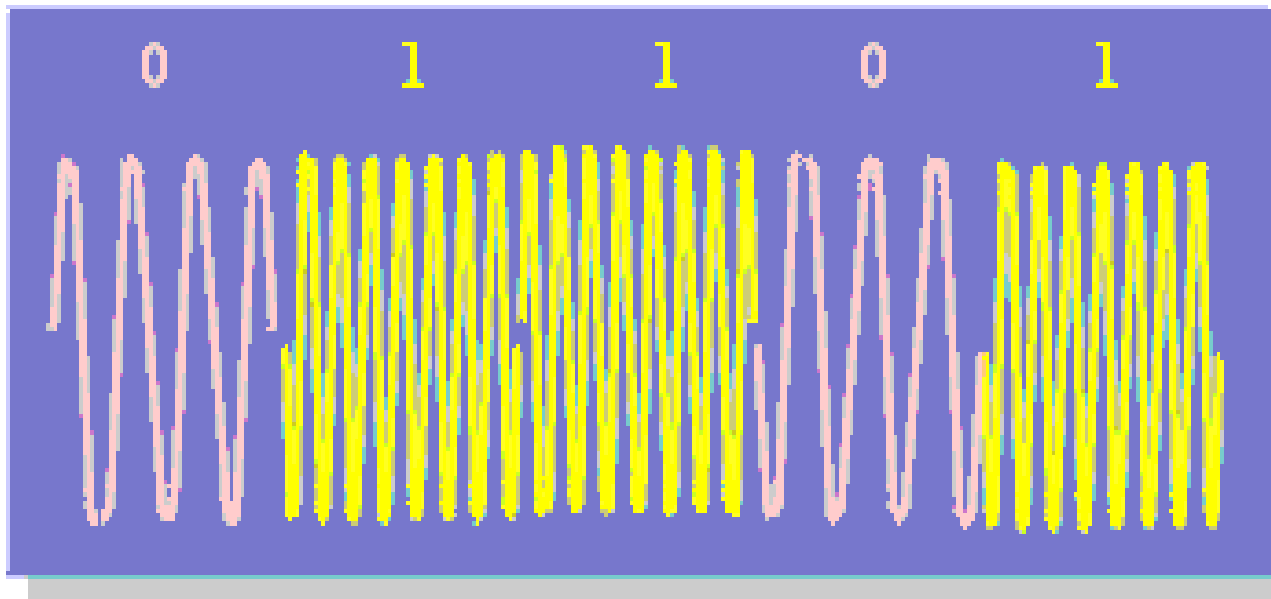
-:

- Érzékeny a zajokra, a különböző terjedési utak körülményeire
- Felhasználás:
 - Digitális adat átvitele optikai kábelben
 - LED adónál 1: rövid fényimpulzus, 0: nincs fény
 - Lézernél 1: magas amplitúdójú fényhullám, 0: alacsony



„0” szimbólumnak f_1 frekvenciájú vivő
„1”-es szimbólumnak f_2 frekvenciájú felel meg

digitális frekvenciamoduláció: a vivő frekvenciáját
változtatjuk a moduláló jel szerint



FSK előnyei-hátrányai

+ :

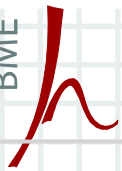
- Egyszerű előállítás és demodulálás
- Érzéketlenség a nem-lineáris erősítők torzítására
 - jó hatásfokú erősítők alkalmazásának lehetősége
 - gazdaságos akkumulátorhasználat a mobil készülékekben

- : Sávzélesség kihasználása nem olyan jó mint PSK-nak

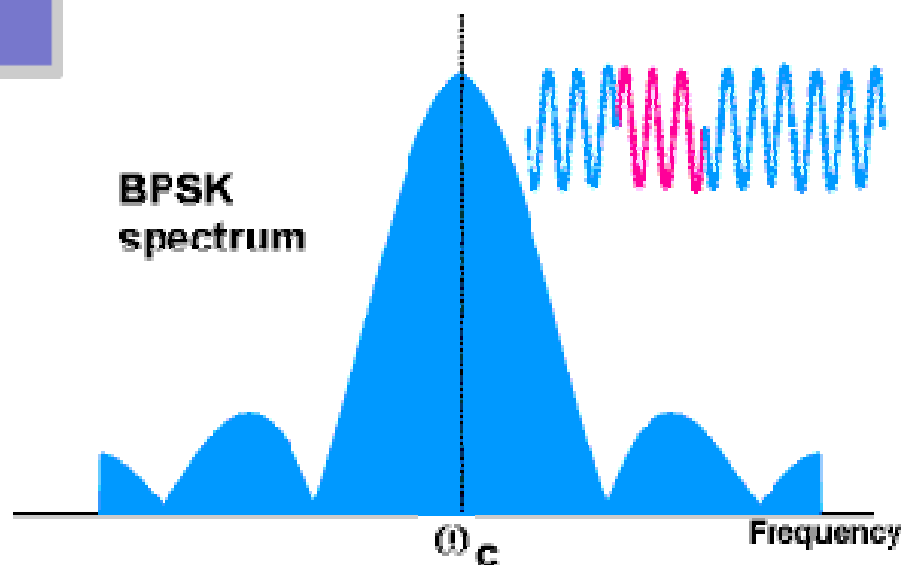
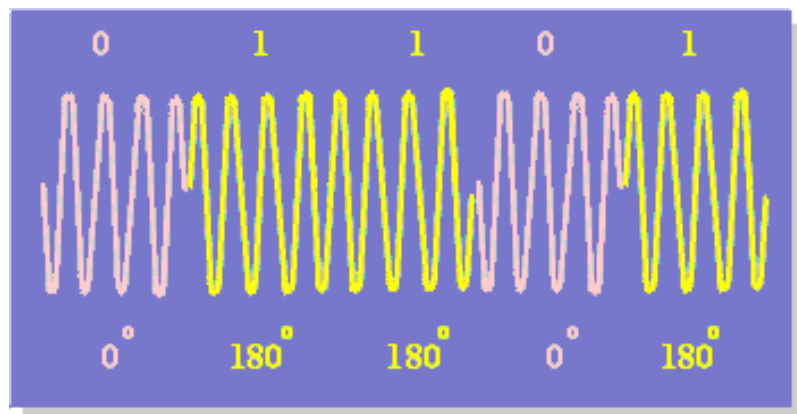
- Népszerűek változatai:
 - AFSK (Audio FSK): telefonmodemek, alapsávban
 - GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying): GSM!

Használat: pl. távoli mérőóra leolvasás

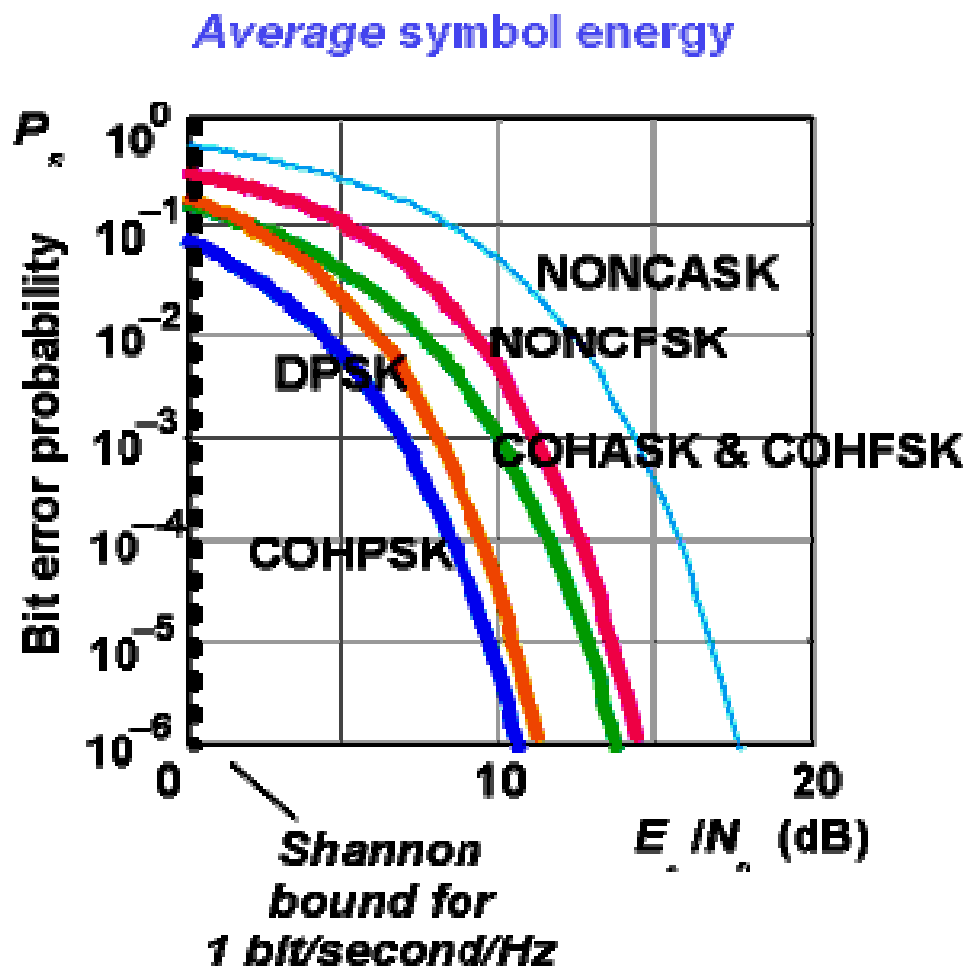
- **Folyamatos fázismoduláció:** nem ugrik vissza a kezdeti értékre, van memóriája a fázisnak
 - +: kisebb energiafogyasztás
 - +: magas spektrális hatékonyság
 - -: ismerni kell az előéletét
- Jel **Gauss szűrőn** megy át a modulátor előtt
 - kisebb oldalsáv, csökken a szomszédos frekvencia csatornák közötti interferencia

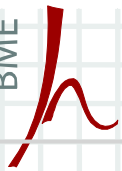


(Bináris) PSK jel az időtartományban és a spektruma



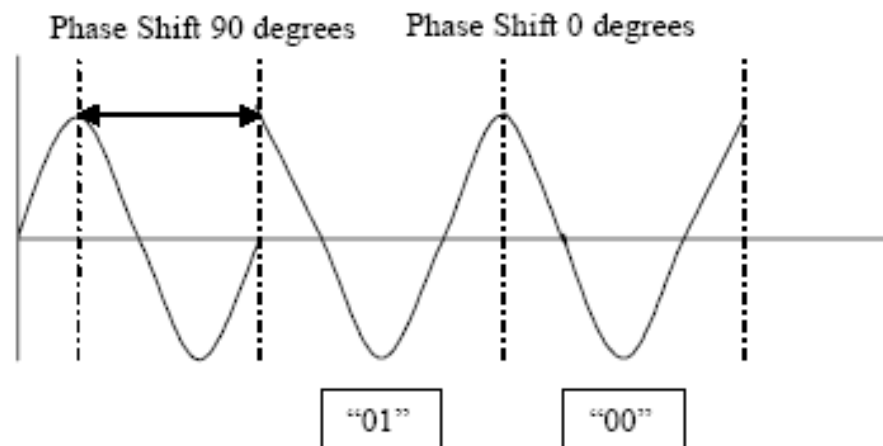
ASK, FSK és PSK hibavalószínűségei





Többszintű PSK: QPSK (Quadrature PSK)

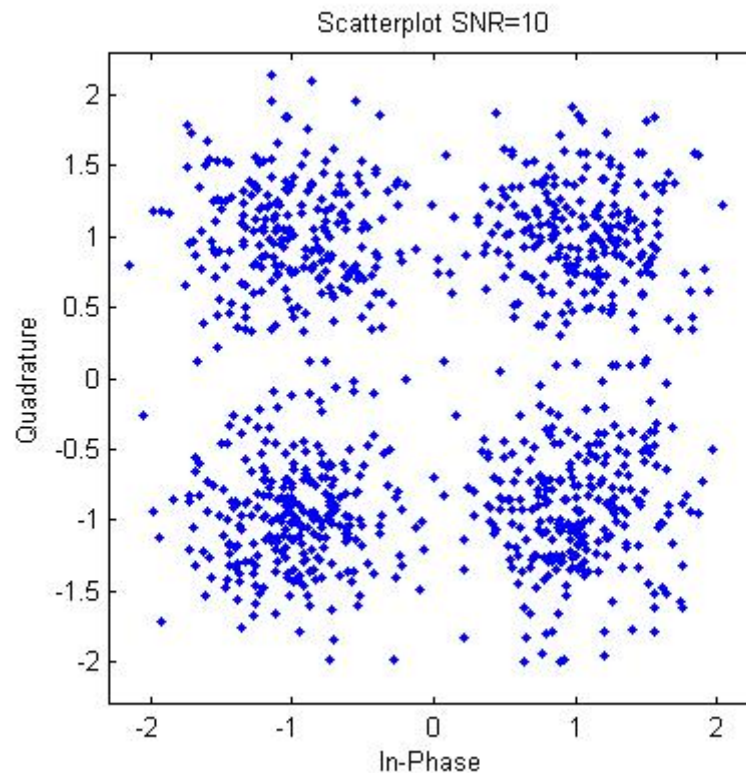
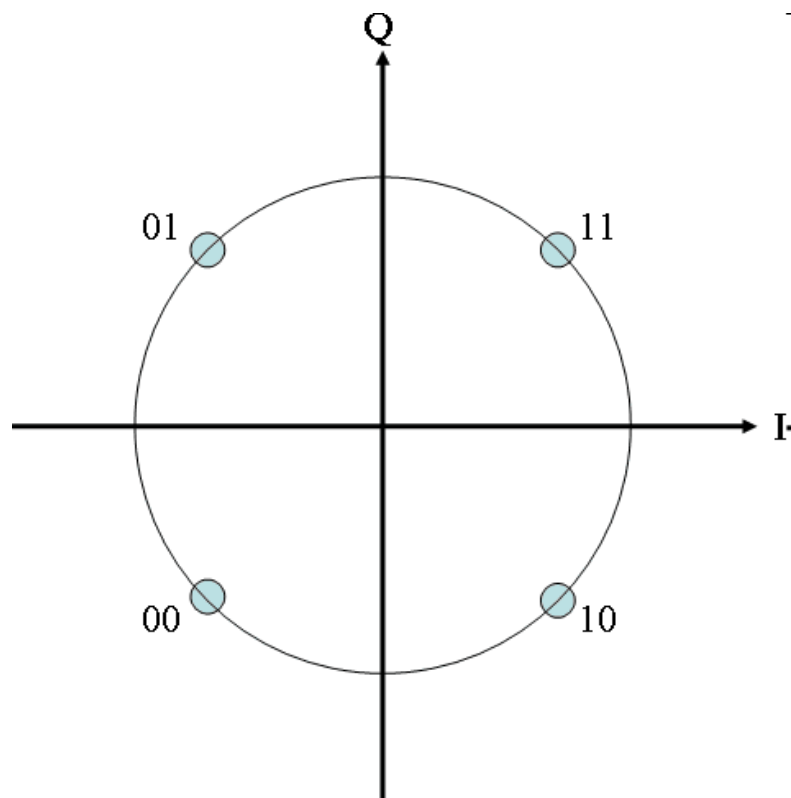
Symbol	Phase Shift
00	0 degrees
01	90 degrees
11	180 degrees
10	270 degrees

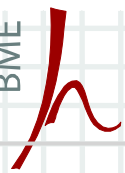


Konstellációs diagram

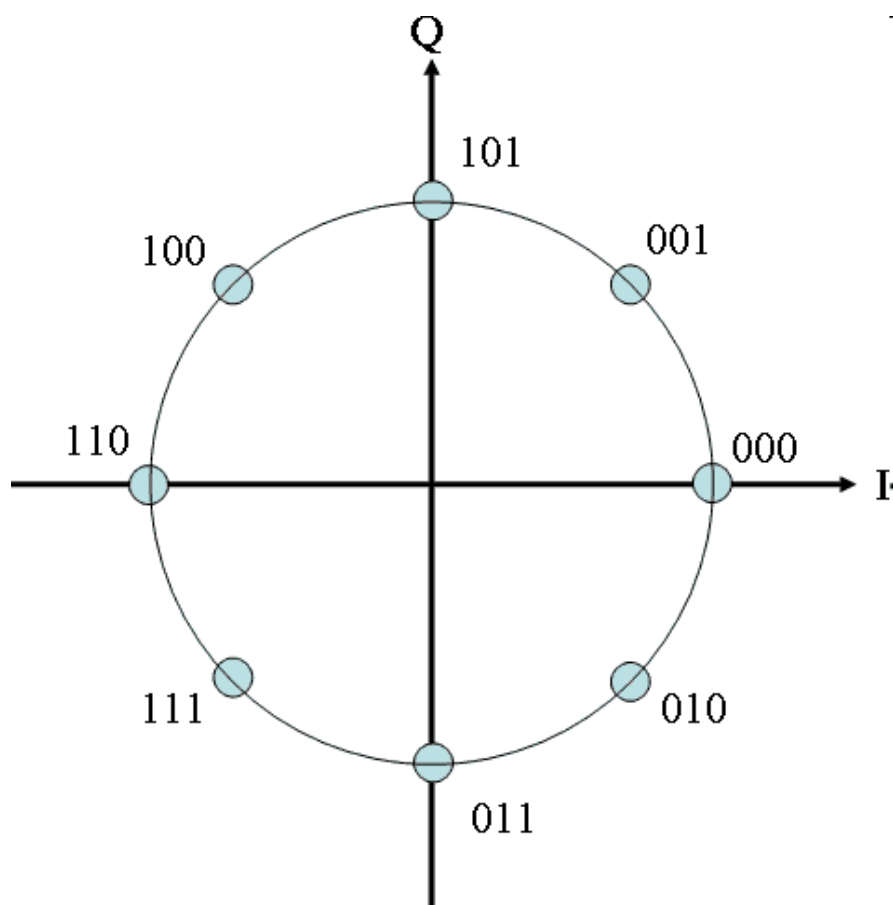
- Konstellációs diagramon komplex számmal ábrázoljuk az átviendő szimbólumot
- Kvadratúra vivők: modulálva a valós és képzetes résszel a sin illetve cos vivőt, mindkettőt átvisszük ugyanazon a frekvencián
 - kvadratúra moduláció
- Vevő: arra a szimbólumra választ, amelyhez a vett szimbólumnak a **legkisebb az euklidészi távolsága**
 - Hibás döntés: zaj másik konstellációs ponthoz viszi közelebb
- Olyan mint a szemábra

QPSK konstellációs diagram

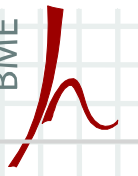




8PSK

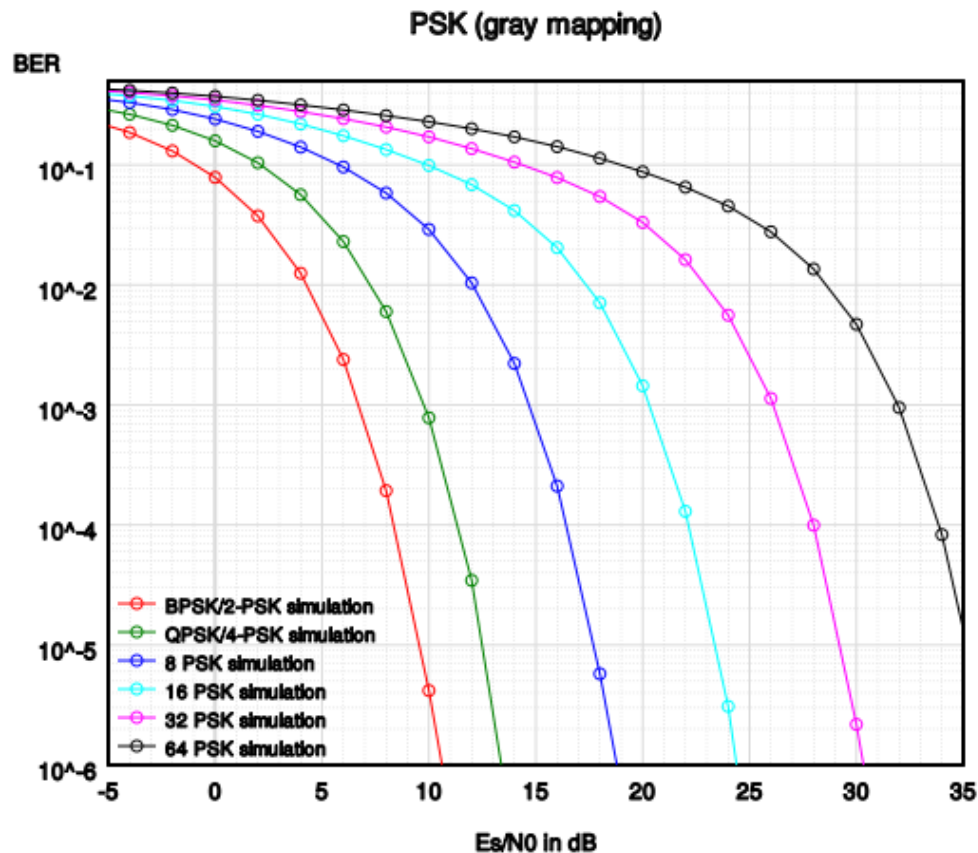


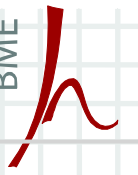
- **QPSK** megduplázza a BPSK adatsebességét
- Viszont nagyobb adóteljesítményre van szüksége ugyanahhoz a jel-zaj viszonyhoz!
- **BPSK**: hibatűrő, de alacsony adatsebesség
- **8PSK**: legmagasabb szintű PSK
 - 8 szint felett már magas a hibaarány, erre jobb a QAM



PSK hibaarányok

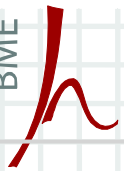
- 8 PSK felett már túl nagy a hibaarány!





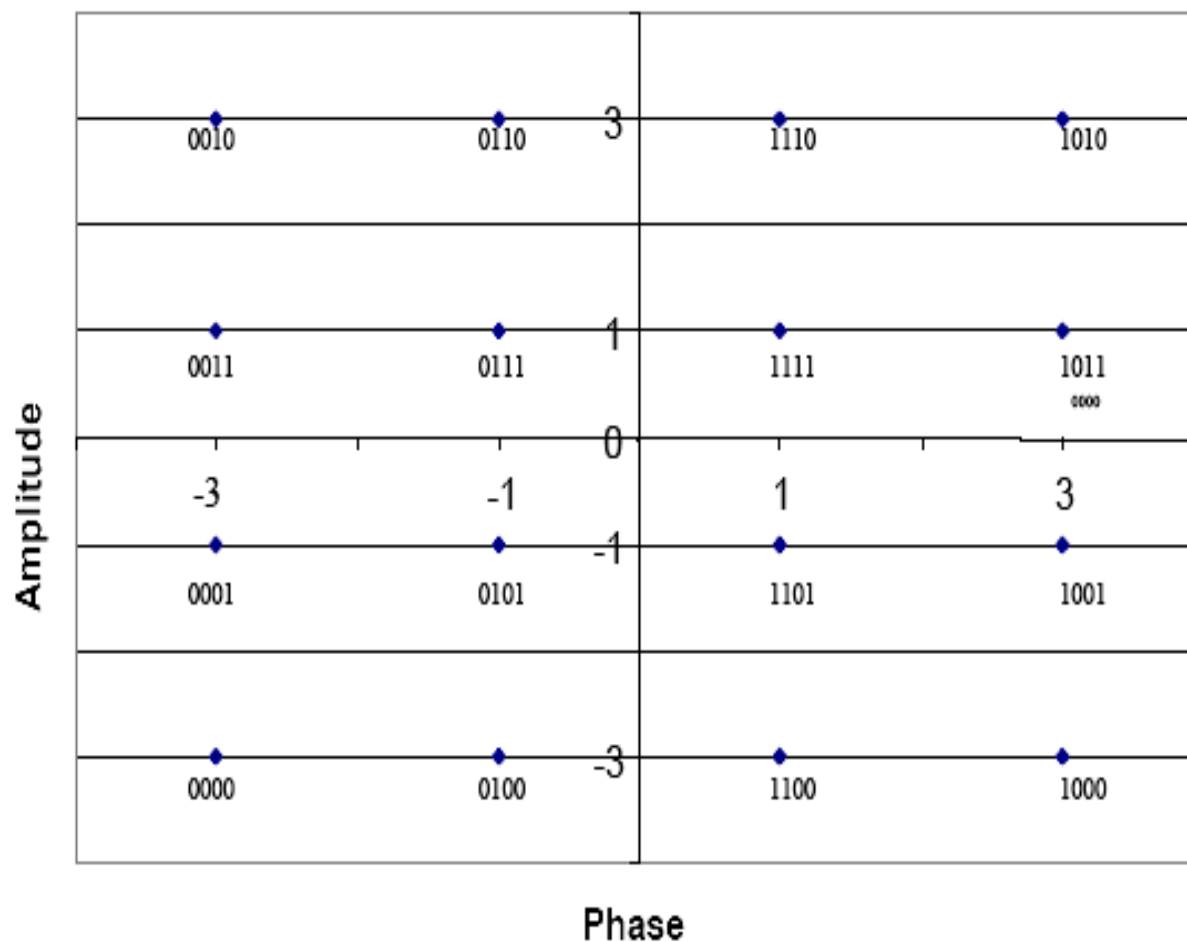
- **BPSK**: RFID (biometrikus útlevelek, American Express)
- **QPSK**: Bluetooth 2 (DQPSK)
- **8PSK**: Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE), 2.5G

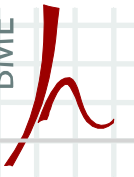
- Két, 90 fokkal eltolt vivőnek egyszerre moduláljuk az amplitúdóját, majd összeadva átküldjük a csatornán
- Olyan, mintha egy vivőnek egyszerre modulálnánk az amplitúdóját és fázisát is
- Leggyakoribb 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM és 256-QAM
 - egyre nagyobb adatsebesség, de rosszabb hibaarány!



QAM konstellációs diagramm

Példa: 16QAM

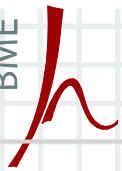




- 8PSK felett már érdemes áttérni a 16QAM-re
 - 8PSK csak 0.5dB-el ad jobb hibaarányt, de adatsebessége csak $\frac{3}{4}$ -e
 - Így néha QPSK után már 16QAM jön
- 64-QAM és 256-QAM: digitális kábel és földfelszíni tv

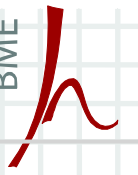
- A rádiós link állapotától függően vált modulációt
 - más adók interferenciája, vevő érzékenysége, adóteljesítmény
 - Ehhez szükség van az adónak csatornainformációra

- Pl. 3G mobil rendszereknél HSPA (High Speed Packet Access)
 - Zajos csatornánál QPSK
 - „Tisztább” csatornánál 16QAM



Multiplexelés (nyalábolás)

- Több csatorna jelét egyetlen jellé alakítani egy osztott csatornán
- Egy kommunikációs csatornát több magasabb szintű logikai csatornává
 - Minden jelfolyamhoz egy logikai csatorna
- Demultiplexelés: vevő oldalon elő tudják állítani az eredeti csatornákat

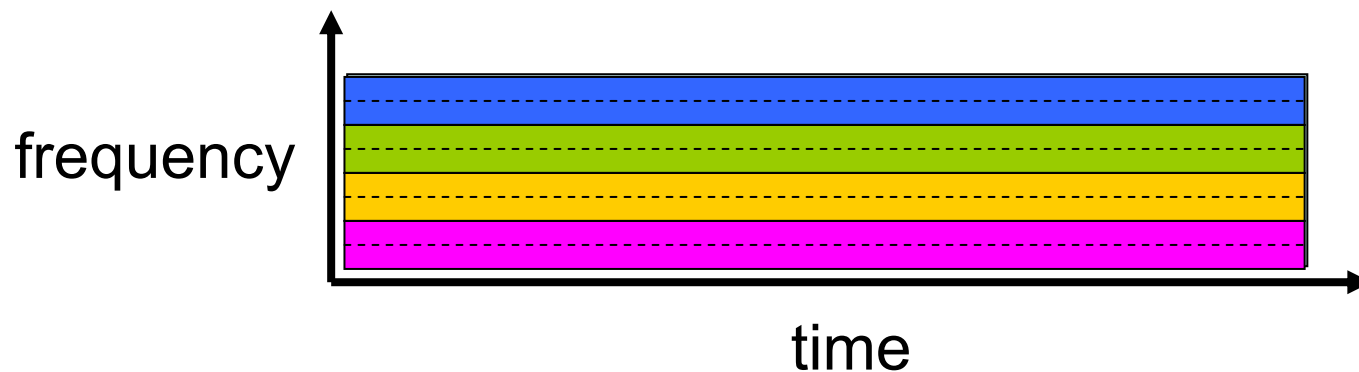


Multiplexelés: FDM és TDM

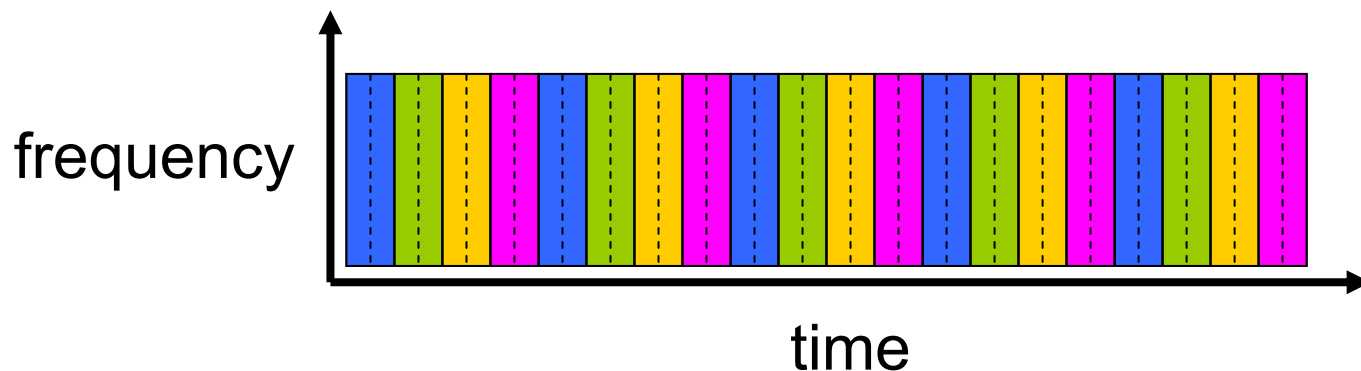
FDM

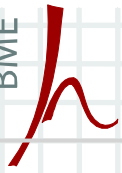
Példa:

4 felhasználó

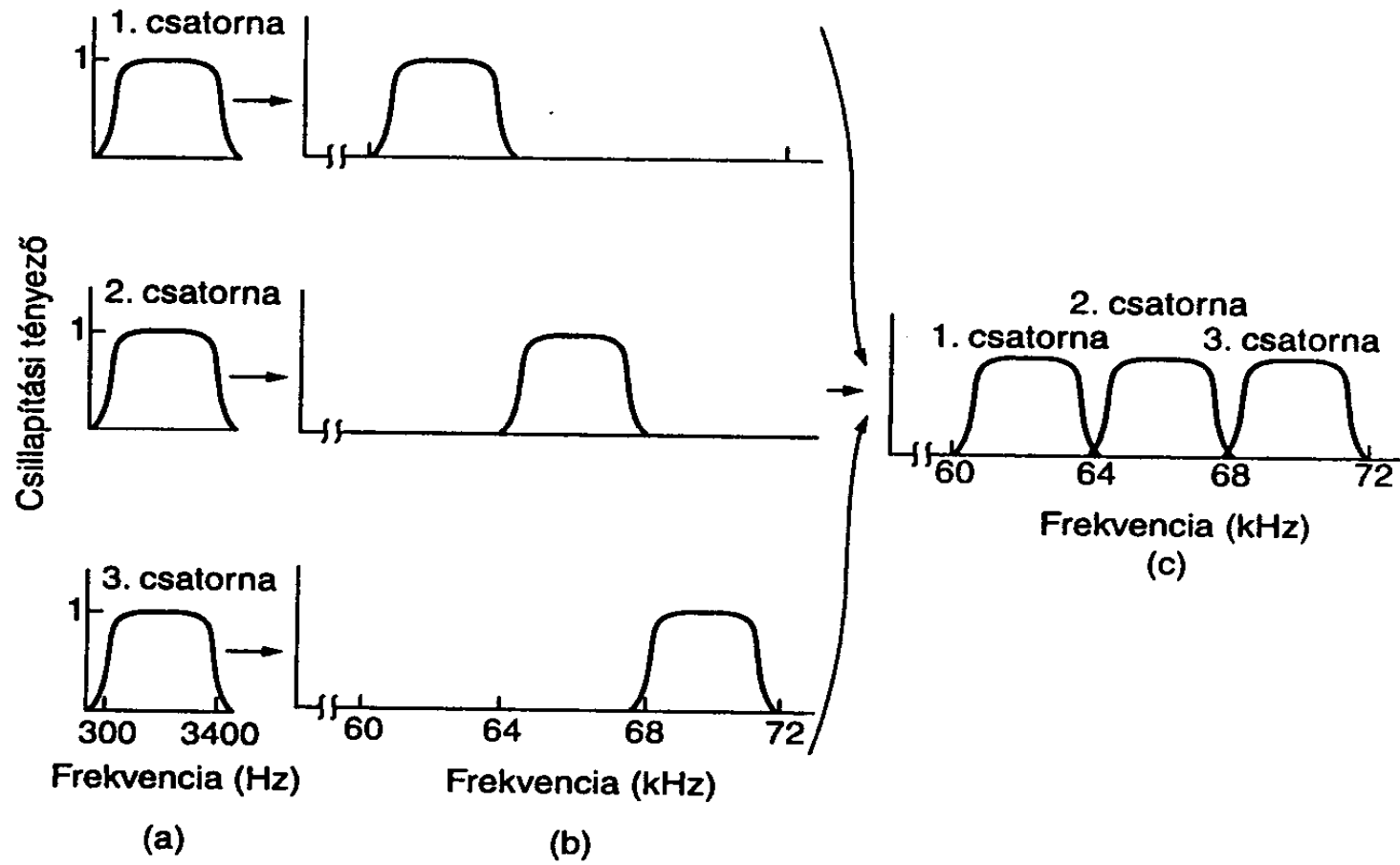


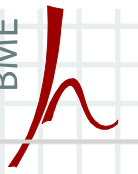
TDM





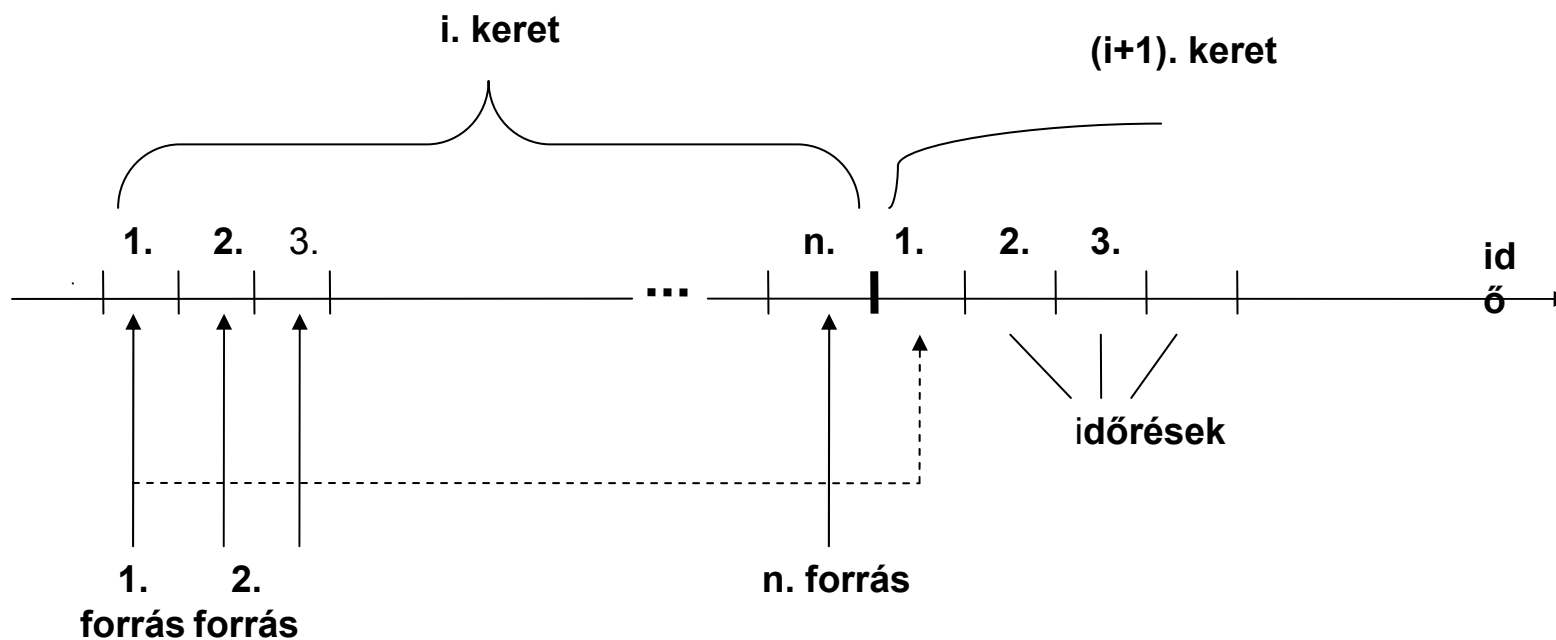
A frekvenciaosztású nyalábolás elve – - FDM – frequency division multiplexing

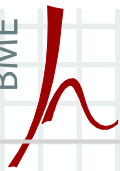




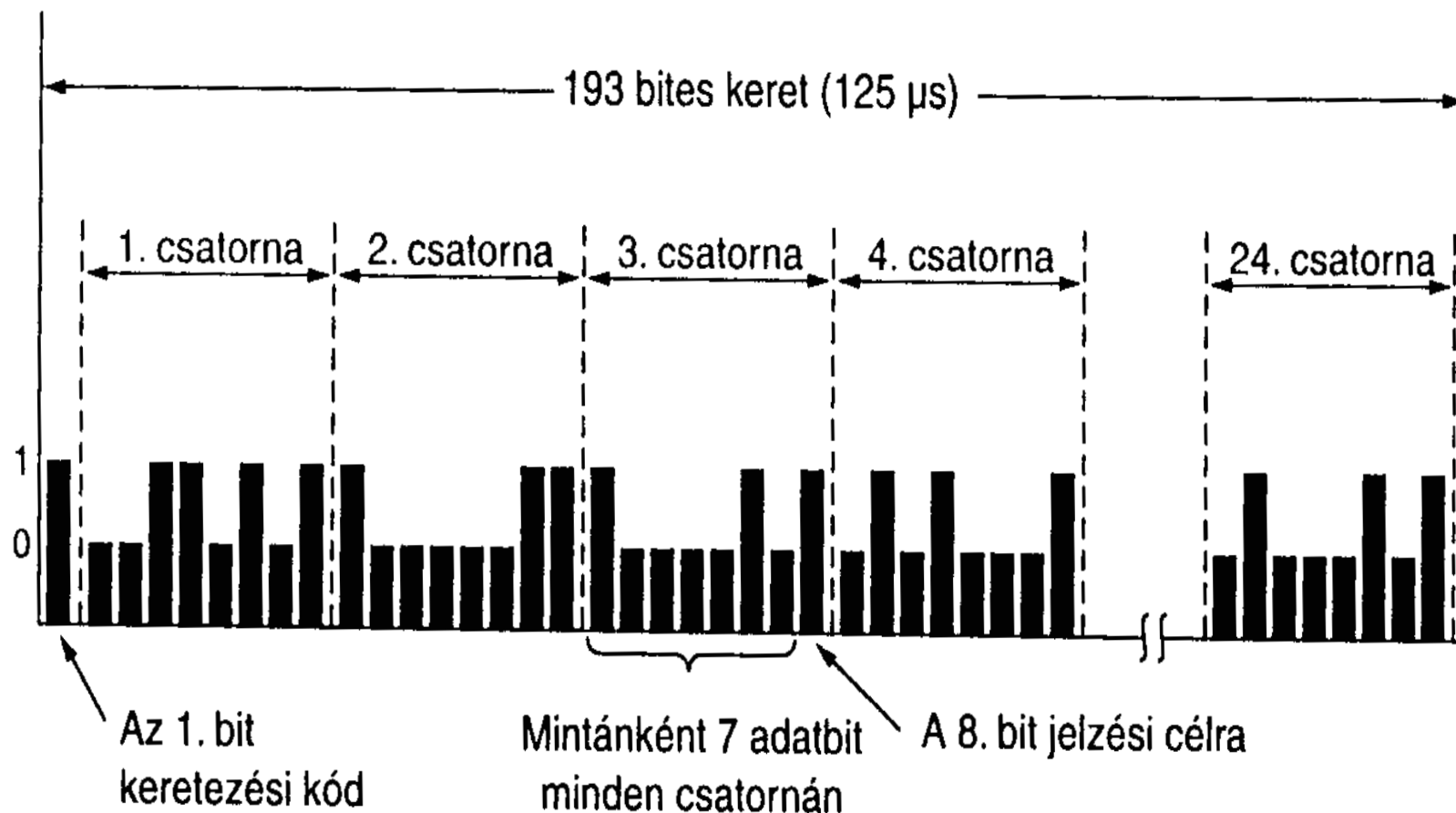
Időosztású multiplexelés –

- TDM – time division multiplexing



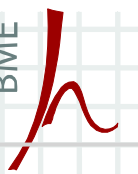


Példa időosztású nyálábolásra beszédátviteli rendszerben (24 csatorna egyenként 8 bitjének multiplexelése)

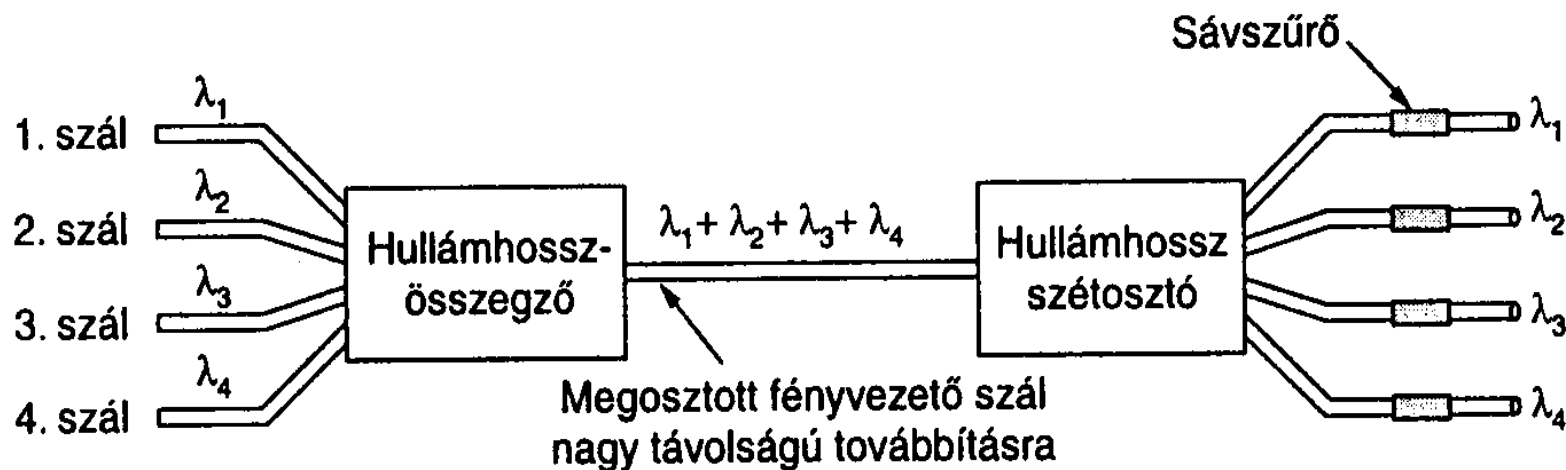
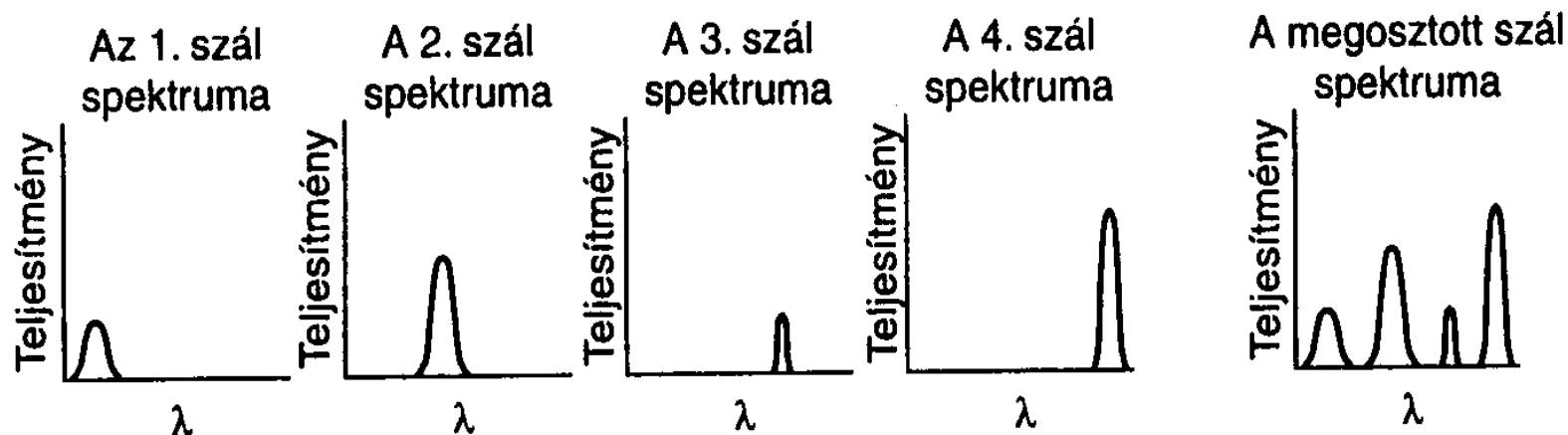


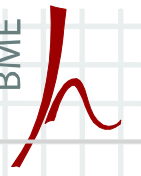
Hullámhossz-osztású multiplexelés

- Üvegszálon több eltérő hullámhosszú fényt viszünk át: több csatorna alakítható ki egy üvegszálon
- Végülis egy FDM technika, de üvegszálon WDM-nek nevezzük (rádiós csatornán FDM)
- Népszerű a szolgáltatóknál: újabb optikai kábelek lefektetése nélkül kapacitásnövekedés
 - Pl. mai rendszereknél 160 jel összefogásával 10Gbit/s helyett 1.6Tbit/s



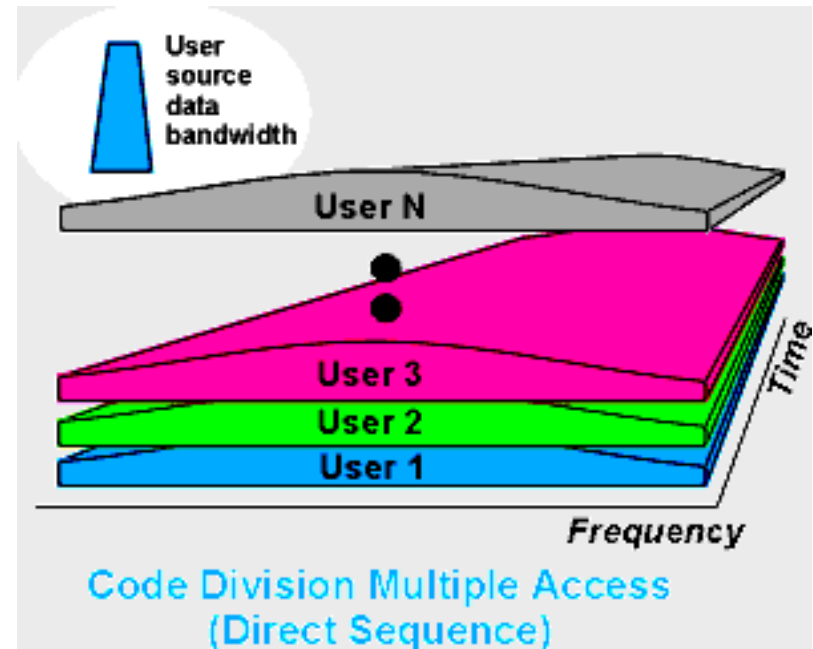
Hullámhossz-osztású nyalábolás (multiplexelés)

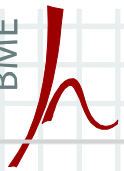




Kódosztású nyálábolás (CDM – code division multiplexing)

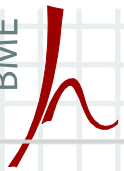
- A egyes csatornák jele sem frekvenciában, sem az időben nem különül el
- Hogy lehet ez?
- Akkor hogyan különböztetjük meg azokat?
- És mi az értelme ennek a furcsa „osztás”-nak?
- Nézzük az egyik módját, az ún. direct sequence CDM-et!



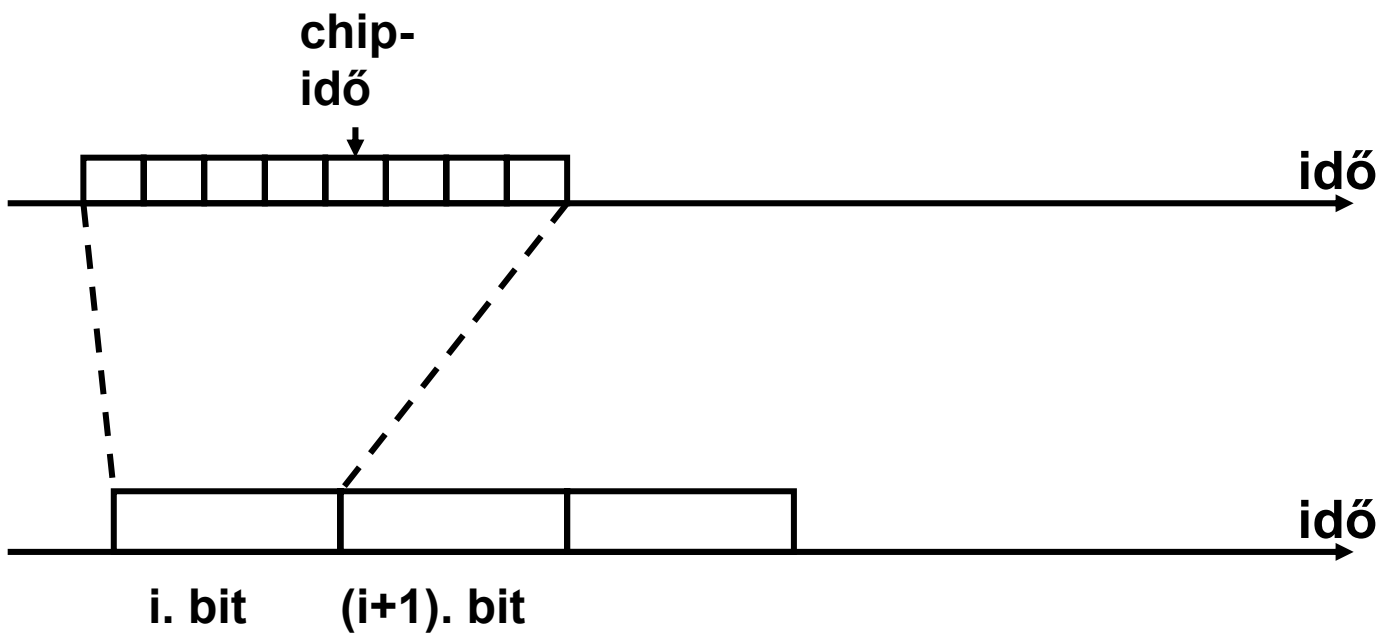


Kódosztású nyalábolás elve

- Analógia: beszélgető emberek egy helységben
 - TDM: egymást felváltva beszélnek
 - CDM: más nyelven beszélnek
- Alapelv: adatokhoz csatornánként speciális kódokat rendel (chip kód)
- Ezzel a szórt, széles sávú jellel (pszeudozaj) kerül többszörözve átvitelre a jel, vevő oldalon visszaszorozzák vele (XOR művelet)
- Minden felhasználónak saját chip kódja, legyen ortogonális a többitől



A CDM elve és a „spektrumszórás” (spread spectrum)



Szórt spektrum előnyei-hátrányai

- +:
 - Nehezen lehallgatható, zajnak tűnik a chip kód miatt
 - Nehezen blokkolható
 - Nem érzékeny a keskenysávú interferenciára illetve többutas terjedésre
 - Frekvencia újr felhasználás pl. cellás rendszerekben
- -:
 - Nagyon pontos teljesítményszabályozás kell (közel-távolság probléma)
 - Interferencia: ha nem pontos a szinkronizáció a chip határoknál
 - Bonyolultabb adó-vevő: ma már nem gond

- Megismertük szimbólumok jelekkel történő továbbításának alapvető problémáit:
 - Véges sávszélességű csatorna → diszperzió
 - Elektromos jelek feldolgozása → additív zaj
 - A forrás által küldött szimbólumok nem mindig azonosak a nyelőbe jutó szimbólumokkal
- Megismertük a jeleknek a csatorna rendelkezésre álló frekvenciasávjához történő illesztését:
 - Vonali kódolás
 - Moduláció
 - Nyalábolás (multiplexálás / multiplexelés)

Kérdések?

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Dr. Simon Vilmos
adjunktus

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
svilmos@hit.bme.hu