

Tételsor - Távközlési hálózatok (2019)

1. A távközlés matematikai és fizikai alapjai: Fourier-analízis, a felharmonikusok szerepe, maximális adatátviteli sebesség
2. Vezetékes és vezeték nélküli átviteli közegek
3. Alapsávi és áteresztő sávi jelkódolás, nyálábolási módszerek
4. Műholdas hálózatok
5. A vezetékes telefonhálózat: felhasználói hurok és a központok közötti átvitel
6. A mobil telefonhálózat
7. Pozíció-meghatározási módszerek

1. A távközlés matematikai és fizikai alapjai: Fourier-analízis, a felharmonikusok szerepe, maximális adatátviteli sebesség

Fourier egyenlet

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

Minden T periódusidejű (ismétlődő) jel felbontható a_n és b_n amplitudós szinuszos és cosinuszos összegére

n : harmonikus tag sorszáma

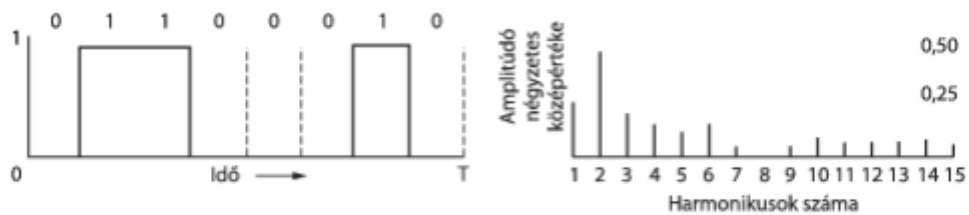
Harmonikus tag: egy konkrét n .dik eleme ennek az egyenletnek

Energiavesztés nélkül nem lehet jelet továbbítani. Való életben a Fourier-sor egyes tagjai különböző mértékben csillapodnak, így a jel torzul. Általában 0 és egy f_c vágási frekvencia között a komponensek csillapítás nélkül terjednek (kb), míg e felett jelentősen csillapodnak. Ezt a tartományt ahol a csillapítás nem túl nagy, **sávszélességnek** nevezzük. Gyakorlatban a sávszélesség 0-tól tart addig a frekvenciáig, ahol a jel teljesítménye az eredeti felére csökken.

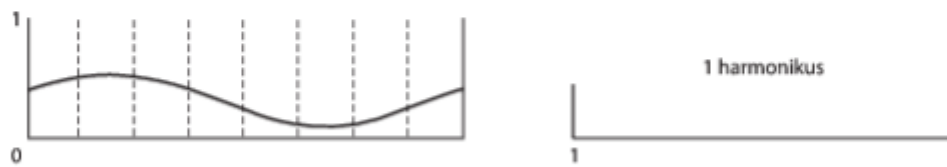
Gyakorlatban úgy néz ki, hogy minél több harmonikust használunk annál pontosabb jelet tudunk küldeni, de akkor annál kisebb kapacitással. Egy bizonyos pontnál már fölösleges a több harmonikus, mert a jel eléggé pontos ahhoz hogy meghatározzuk.

Ha az adott sebesség b b/s akkor 8 bit küldéséhez $8/b$ másodpercnyi idő kell, első harmonikus frekvenciája $b/8$ Hz. Beszédminőségű vonalaknak nevezett telefonvonalak 3000Hz körül van a vágási frekvenciája. Ez a korlátozás azt jelenti hogy legmagasabb átvitt harmonikus $24000/b$.

Vannak jelek pl tvcsatornák, ahol egy tv csatorna a vezetéken megadott méretet foglal, így egymás mellett több is tud menni. Ennek következtében a csatornák frekvenciatartománya nem 0-tól kezdődik, de ez nem gond.



(a)



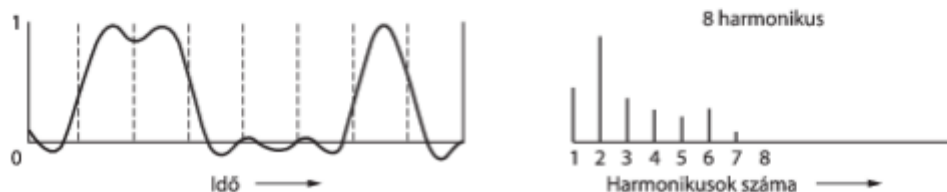
(b)



(c)



(d)



(e)

Alapsávi jel (baseband): 0-tól, maximális frekvenciáig terjedő sávban futnak a jelek

Áteresztősávi jel (passband): jel átviteli sávját egy nagyobb frekvenciatartomány felé tolja el

Nyquist: észrevette hogy a tökéletes csatornának is véges a kapacitása

$$\text{Maximális adatsebesség} = 2 B \log_2 V \text{ bit/sec}$$

B : sávszélesség

V : különböző diszkrét szintek száma (?)

Ha a csatornán véletlen zaj is van jelen (gyakorlati szinten csak ilyen létezik) akkor a helyzet romlik. Véletlen (termikus) zajt a jel és zaj teljesítményének arányával mérik **jel/zaj viszony (SNR, Signal-to-Noise Ratio)**. Jel teljesítménye S, zaj teljesítménye N, akkor jel/zaj viszony S/N . $10 \lg S/N$ alakban adják meg, nagy értéktartománya miatt. Az egységeket decibelnek hívjuk, ha $S/N = 10$ akkor az 10dB, $S/N = 100$ akkor 20dB.

Shannon: Nyquist kutatását folytatva felírta a maximális sebességet zajos csatornára

$$\text{Maximális adatsebesség} = B \log_2(1 + S/N) \text{ bit/sec}$$

Ez az érték fizikailag nehezen elérhető, de ahogy fejlődik a tudomány (pl erősítővel) egyre jobban megközelíthető.

2. Vezetékes és vezeték nélküli átviteli közegek

Mágneses hordozó

Mágneses szalagra vagy lemezre írjuk az adatot, fizikailag elszállítjuk a célgéphez, ott leszedjük róla az adatot. (pl dvd)

- olcsó
- nagy sávszélesség
- kis bitenkénti költség
- adatátviteli idő lassú

Sodrott érpár

két szigetelt réteghuzal spirálszerűen kötve

sodrás oka: két párhuzamos huzal antennaként működne, de sodorva a jelek kioltják egymást, kevésbé sugároz

jel átvitele a két huzal feszültségkülönbségével történik (általában), jól ellenáll a zajnak mert mindkét huzalt ugyanolyan mértékben befojtásolja

- telefonrendszerek ezt használják
- több kilométeres táv
- sávszélessége $\sim 100 \text{ Mb/s}$ (akár 1 Gb/s) (függ a távtól és a vastagságtól)
- olcsó
- analog, digitális is

duplex: mindkét irányba használható egyszerre

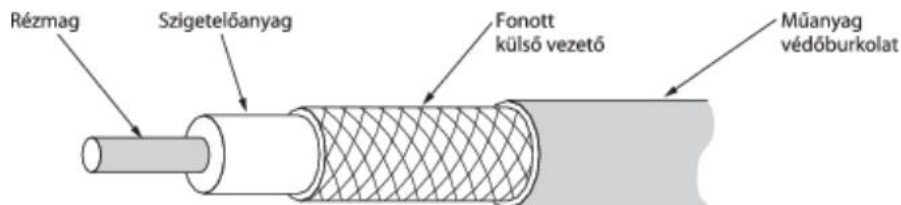
fél duplex: mindkét irány de egyszerre csak az egyik

szimplex: 1 irány

- Cat 5: 4db sodrott érpár
- Cat 6: UTP (unshielded twisted pair) akár 10 Gb/s
- Cat 7: árnyékolt cat 6

Koaxiális kábel

- Jó árnyékolás
- nagy sebesség
- nagy táv
- kis zaj
- néhány GHz
- 50 Ohm-os digitális átvitel
- 75 Ohm-os analóg átvitel



Erősáramú vezetékek

Elektromos áramot szállítanak, régi gondolat, gyors, konnektorba ugys bedugod a tv-t akkor jöhet onnan az adat is.

hibák:

- Hálózat nem erre lett tervezve
- Sodrás hiányában antennaként is működik
- Kikapcsolsz egy eszközt a hálózaton változik, zaj keletkezik
- Házonként eltérő

Üvegszálak

üvegszál egyik végén fényt bocsátunk ki, másik végén érzékeljük és villamos jellé alakítjuk vissza

többmódusú: több fénysugar halad egyszerre egy üvegben, más módusokkal

egymódusú: üvegszál fala lecsökken, egy sugár terjed de hullámként (nagyobb táv)

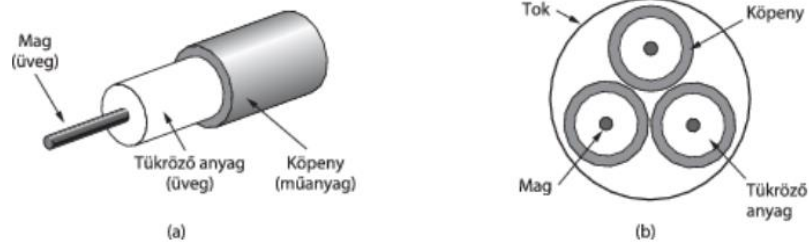
fényerősség csökkenését a bemenő és kimenő jel arányában adják meg, fény más hullámhosszon más mértékben csillapodik

A szálon végigküldött fényimpulzusok hosszanti irányban szétszóródnak terjedés közben. Ezt a szóródást **kromatikus diszperzió**nak (chromatic dispersion; „a színek szétszóródása”) nevezik, és mértéke a hullámhossztól függ.

Szoliton: ha az impulzusokat egy bizonyos alakúra formáljuk akkor szinte minden szóródási hatást kiejthetünk.

Üvegszálak kábelek

- nagy táv
- gyors
- drága
- mechanikai hatásokra érzékeny



összeillesztés:

csatlakozóval: 10-20% veszteség

mechanikus egymáshoz illesztés: 5 perc alatt elvégzi a szakember 10%

összehegesztés: nagyon alacsony csillapítás

mindháromnál keletkezik interferáló fény

adók:

Jellemző	LED	Félvezető lézer
Adatsebesség	Kicsi	Nagy
Üvegszál típusa	Többmódusú	Több/egy módus
Távolság	Kicsi	Nagy
Élettartam	Hosszú	Rövid
Hőmérséklet-érz	Kicsi	Jelentős
Ár	Olcsó	Drága

Rézvezetékhez képest:

- nagyobb sávszélesség
- gyorsabb
- könnyű
- messzebbre ér
- vékony
- nehezen csapolható
- mechanikailag kevesebbet bír
- bonyolultabb

Vezeték nélküli adatátvitel

Elektromágneses hullám

Ha az elektronok mozognak elektromágneses hullámot keltenek. Ezek a szabad térben továbbterjednek. Másodpercenkénti rezgésszáma a frekvencia, két hullámcsúcs közti táv a hullámhossz. Vákuumban frekvenciától függetlenül fénysebességgel terjednek, rézben és üvegszálban ennek a 2/3-a és frekvenciafüggő kissé.

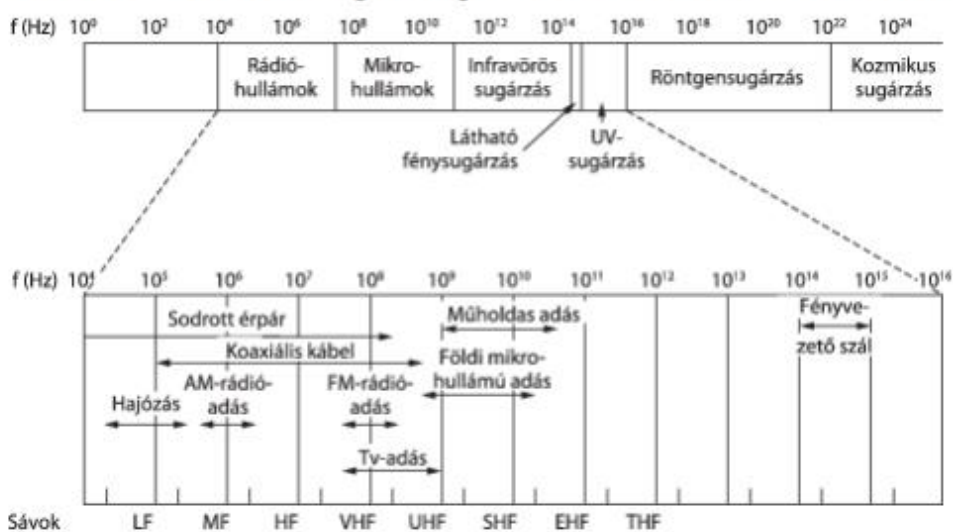
A rádióhullám, a mikrohullám, az infravörös hullám és a látható fény a spektrumnak az a része, amely amplitúdó-, frekvencia- vagy fázismoduláció révén alkalmas információtovábbításra. Az ultrabolya, a röntgen- és a gamma-sugarak a nagyobb frekvencia miatt még jobbak lennének, de ezeket nehéz előállítani és modulálni, nem terjednek jól az épületekben, és veszélyesek az élővilágra.

frekvenciaugrásos szórt spektrum(FHSS): átvitel esetén az adó frekvenciáról frekvenciára ugrál, másodpercenként több százszor. Ez a módszer népszerű a katonai rendszerekben, mivel nehezíti az adások felderítését, és szinte lehetetlen a zavarásuk (802.11 korábbi verziói, Bluetooth)

közvetlen sorozatú szórt spektrum(DSSS): , amely egy széles frekvenciasávon teríti szét a jelet. Ez a megoldás egyre népszerűbb az üzleti világban, mint spektrálisan hatékony mód arra, hogy több jel ugyanazon a frekvenciasávon osztozzon. Ezekhez a jelekhez különböző kódokat rendelnek, ennek a módszernek a neve CDMA

ultraszéles sáv (UWB): gyors impulzusok sorozatát küldi, változtatva azok pozícióját az információ továbbítása érdekében. A gyors átmenet olyan jelet eredményez, amely nagyon széles frekvenciasávban terjed, ritka eloszlásban

2.10. ábra - Az elektromágneses spektrum és felhasználása a távközlésben



(képen a 10 hatványai 0-tól kettesével, lent pedig 4-től egyesével)

Rádiófrekvenciás átvitel:

egyszerűen előállítható, nagy táv, könnyen áthatol falakon, minden irányban terjed → nem kell precízen beállítani az adót és a vevőt

terjedésük frekvenciafüggő

kis f : minden akadályon áthatolnak, teljesítményük forrástól távolodva erősen csökken

nagy f : egyenes vonalban terjed tárgyakról visszaverődik, eső és egyéb akadály erősen elnyeli

Mikrohullámú átvitel:

100 MHz felett a hullámok szinte teljesen egyenes vonalban terjednek, és így jól fókuszálhatók. Ha a teljes energiát egy kicsi nyílásba sűrítjük egy parabolaantenna (mint az ismerős műholdas tv-antenna) használatával, akkor jelentősen megnő a jel/zaj arány, de az adó és a vevő antennáit nagyon pontosan kell egymás felé irányítani. Ez lehetővé teszi egymás mellett több csatorna kommunikációját is.

Egyenes vonal miatt a földfelszín problémát okoz, ismétlőkre van szükség.

Falakon nem megy át

Széles körben használt mert egyszerű kiépíteni

Frekvenciasávok a valóságban:

legtöbb frekvencia használatához FCC engedélye kell, ISM nem használható

Ezeket szét kell osztani hogy ki használhatja őket. Országonként külön van. 3 módszer van rá: választanak, randomizálják, eladják. Vannak nem kiadott frekvenciák: ISM (industrial, scientific, medical) (garázkapuk távirányítói, a vezeték nélküli telefonok, a rádióvezérelt játékok, a vezeték nélküli egerek és még számtalan más háztartási eszköz)

Infravörös átvitel:

kis táv, jól irányítható, olcsó, könnyen előállítható

nem hatol át testeken

egyes háztartási eszközökhöz tökéletesen megfelelnek (főleg távirányítók, ahol jó is hogy nem hatol át a falakon)

Látható fényhullámú átvitel:

Kis távok, pontos célzás, nem kell engedély, gyorsan kiépíthető pl 2 épület között, természeti hatásoknak ki van téve, hibahatárral kell tervezni

Kommunikációs műholdak:

Először léggömbökkel akarták, majd a holdat használták, majd mesterséges holdakat (műhold) küldtek fel melyek erősítve is vissza tudták küldeni a jelet.

Műhold: transzponder nézi a spektrum egy részét, jelet visszaküldi más frekvencián hogy elkerülje az eredetivel az interferenciát (hajlított cső mód), de digitális feldolgozással javítani lehet a jelet visszaküldés előtt, lefelé menő nyaláb lehet széles, szórt, vagy keskeny célzott

3. Alapsávi és áteresztő sávi jelkódolás, nyalábolási módszerek

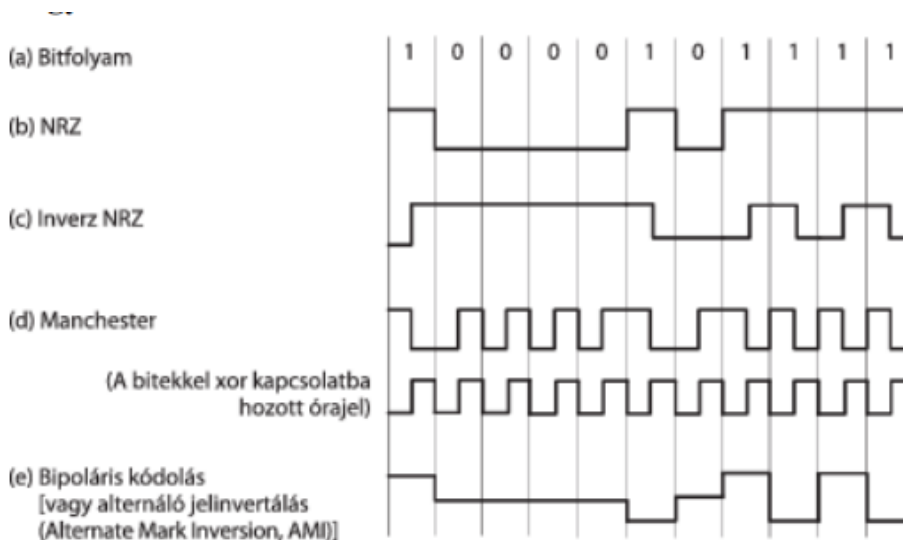
Digitális moduláció: jelet átalakítja bitté (kódol/dekódol magyarul)

Vannak módszerek amik közvetlenül alakítják át a biteket jelekké, ezek **alapsávi átvitelt** eredményeznek.

Vannak olyanok amik változtatják a vivőjel amplitúdóját, fázisát, frekvenciáját az adattovábbítás érdekében, ezek **áteresztő sávi átvitelt** eredményeznek.

Ha egy csatornán több jel oszlik az a **multiplexelés**

Modulációs típusok:



NRZ: van jel akkor 1, annak hiánya 0

Több feszültség szint használatával (2 helyett pl 4) több bitet is tudunk egyszerre küldeni

A jel változásának sebessége a **jelsebesség** (az idő ami kell h egy jelet küldjünk)(baudrate)

adatsebesség = jelsebesség *elemenként átment bitek

Órajel

Küldéskor a vevőnek tudnia kell hogy milyen sebességgel jön az adat, 15 nulla majdnem ugyanaz mint 16 nulla, eltérés csak nagyon pontos órával mérhető. De egy ilyen pontos óra elég drága lenne minden eszköznél ami kommunikál, ezért másféle megoldásokat alkalmaznak.

Egy megoldás hogy egy külön órajelet küldünk egy másik kábelen, de ez pazarlás, a másik kábelen is küldhetnénk adatot. Ezért találták ki a **Manchester** kódolást, ahol az órajelet beleépítették a jelbe, mégpedig hogy a jel helyett a jel és az órajel XOR kapcsolatát küldik. Hátránya hogy kétszer akkora sávszélességet igényel mint az NRZ.

NRZI : 1est átmenettel jelöljük, 0-át nem átmenettel, használt pl USB-knél ahol az egyesek hosszú sorozata emiatt nem jelent gondot

nullák hosszú sora még mindig nem megoldott, erre kitalálták a 4B/5B kódolást, minden 4 bitnek megfeleltetnek egy 5 bites sorozatot, melyben maximum 2 nulla állhat egymás mellett, ez 25%os adattöbbletet jelent de még mindig jobb mint a manchester 100%os többlete (arról nem is beszélve hogy maradnak nem használt 5 bites sorozatok melyeket kulcsszavaknak lehet használni)

Megfeleltető tábla

Adat (4B)	Kódszó (5B)	Adat (4B)	Kódszó (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Rejtjelezés: álvéletlen sorozattal (véletlennek tűnik de mindkét fél ismeri) xor kapcsolatba hozza a kódoló az adatot, majd a dekódoló szintén legenerálja az álvéletlen sorozatot és xorozza vele a jelet, ezzel megkapva az eredetit, de az álvéletlen sorozat nélkül értelmezhetetlen a jel

Előnyös mert nem okoz semmilyen többletet, és nagyobb eséllyel nem lesznek hosszú egybefüggő 1 v 0 sorozatok

Kiegyensúlyozott jel: rövid távon belül is a jel pozitív feszültsége ugyanannyi mint a negatív, átlaguk nulla → nincs egyenáramú összetevőjük, ez sok továbbítási módszernél előnyös pl koax

Bipoláris kódolás: az 1-et két feszültség is jelzi (pl +1V és -1V) a nullát pedig a 0 V, és az egyeseket felváltva jelöljük a két feszültséggel ezzel kiegyensúlyozott jelet generálva

8B/10B : hasonló a 4B/5B hez, de szétbontja a jelet és két lehetőség van aminek megfeleltetheti, és tagonként elmenti a **diszparitást** (nullák és egyesek különbsége) és az alapján dönti el hogy a kettő minta közül (egyikben sok 1-es van másikban sok 0), melyik tudná jobban kiegyensúlyozni a jelet

Áteresztő sávú átvitel

A jel továbbítására egy tetszőleges frekvenciát választunk ezzel egy csatornán több jelet is tudunk küldeni

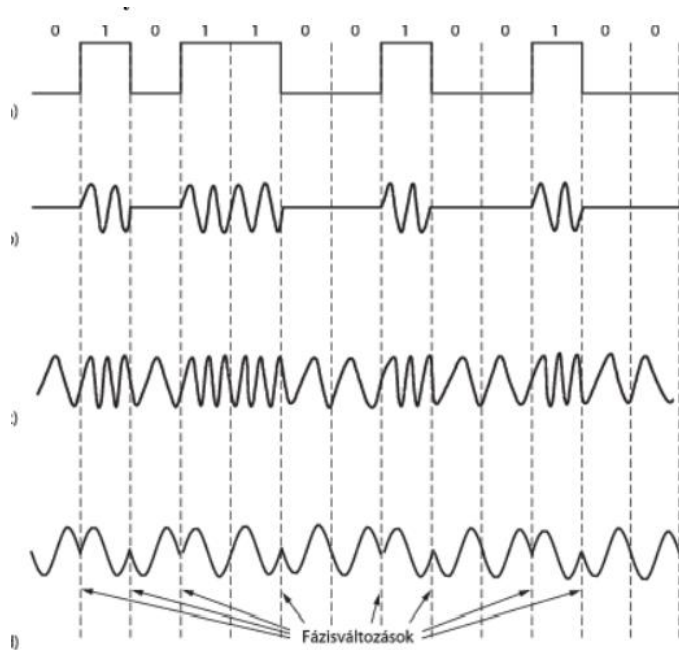
ASK (amplitúdóbillentyűzés) : 2 amplitúdóval jelöljük a 0-át és az 1-et

FSK (frekvenciabillentyűzés) : ugyanez csak f

PSK (fázisbillentyűzés) : a hullám fázisszögét tolja el (0 és 180 között)

QPSK : négy fázisszöget használ kettő helyett, hatékonyabb

fentiekre példák (első bináris jel, második amplitudó, 3. frekv, 4. fázis)



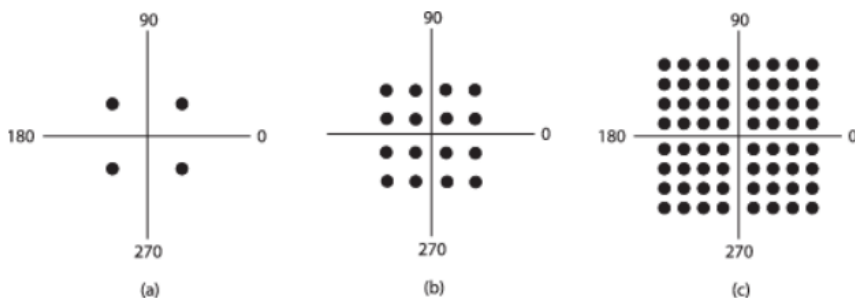
Sémák kombinálhatók és több szint használható több bit továbbítása érdekében (frek és fázis összefügg ezért a kettő egyszerre nem modulálható)

konstellációs diagram:

fázisszög: pontot origóval összekötő egyenes és pozitív x tengely szöge

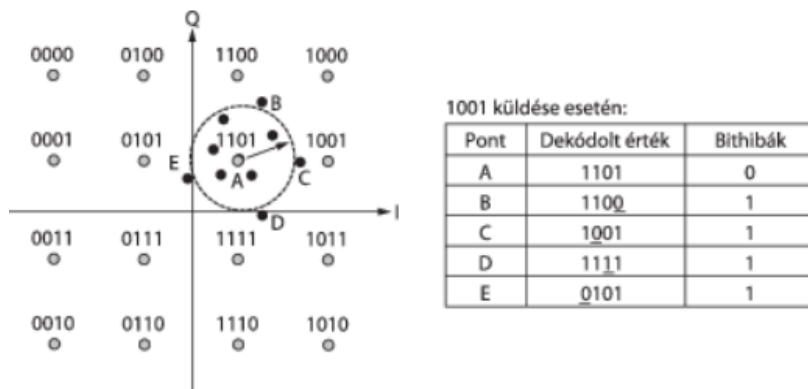
amplitúdó: origótól való táv

(a) QPSK, (b) QAM-16, (c) QAM-64



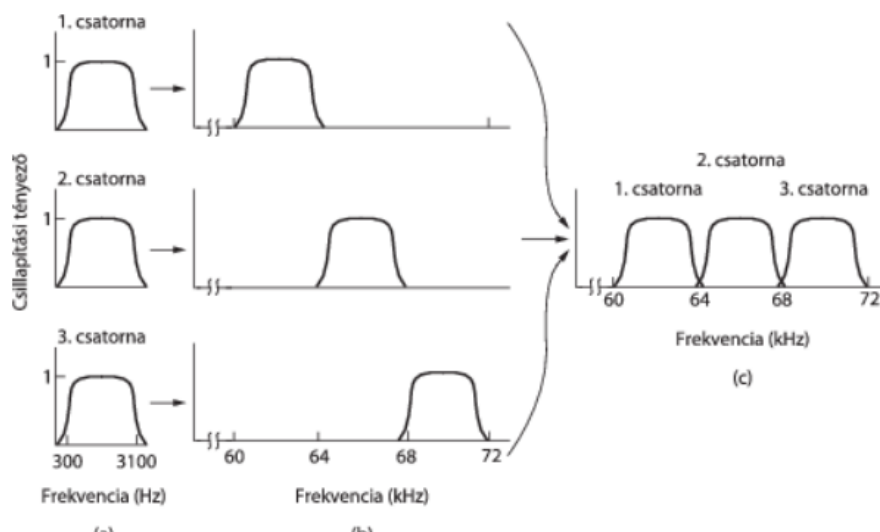
Gray kódolás: egy kis zajlöket a vevő oldalán nagy eltérést tud okozni ha az egymáshoz közeli szimbólumok (a jel megfeleltetése bitekben pl 0111) nagyon eltérnek egymástól, de ha gray kódoljuk őket (egymás melletti szimbólumok közti különbség csak 1-1 bit), akkor csak egy bithibát eredményez

Gray kódolt QAM-16



Frekvenciaosztásos multiplexelés: FDM

A rendelkezésre álló frekvenciasávot felosztja, és szétosztja a jelek között

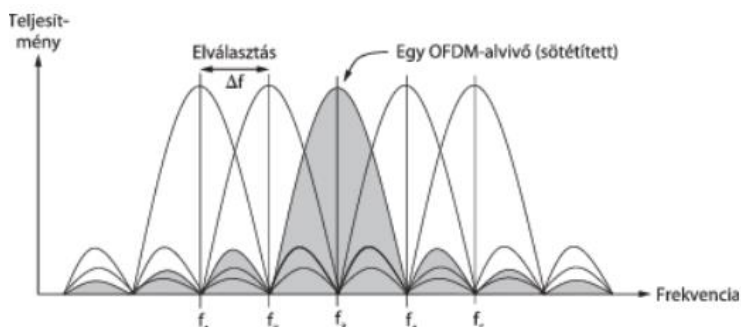


példa hívások felosztására

csatornák között kis helyek ki vannak hagyva hogy ne nyúlhassanak egymásba, de néha ígyis átnyúlnak mert a vágás nem éles, azt hívjuk **átlapolódásnak**

Digitális esetben Ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelés:

Az alvivők (egyes jelek) szorosan helyezkednek el a frekvenciasávban ezért van hogy átnyúlnak de úgy tervezték meg hogy míg az egyik nulla a másik amplitudója akkor a maximum, így külön időben lehet őket mintavételezni



Az ötlet rég felmerült, de rájöttek hogy az összeset egyszerre modulálva is lehet vinni a jelet azóta használják (ahelyett hogy az alvivők egyesével modulálták volna)

Használják mobilrendszerek, elektromos hálózatok, kábelhálózatok

Időosztásos multiplexelés: TDM

Mindegyik felhasználó adott időközönként a teljes sávot megkapja, és körben mennek hogy éppen kinél van. Pontos szinkronizáció szükséges felhasználók között, ezért van hogy védőidő kerül be



STDM: nem körbe forog, hanem statisztikailag a legfontosabb felhasználó kapja meg a csatornát

Kódosztásos multiplexelés : CDM

Keskeny sávú jel szélesebb frekvenciasávban terjed → Jobb interferenciaszűrést biztosít

Hívják CDMA-nak is, lehetővé teszi hogy különböző felhasználók jelei ugyanazt a frekvenciasávot használják

A CDMA minden állomás számára teljes időben a teljes frekvenciasávban történő átvitelt teszi lehetővé. A több párhuzamos átvitelt kódolással választják szét.

Magyarázat/Élő példa (segít megérteni nagyon)

Repülőtéri váró, amelyben rengeteg pár beszélget. A TDM annak felel meg, mintha a párok egymás után beszélnének. Az FDM olyan, mintha az emberek különböző hangmagasságokban beszélnének, ki magas hangon, ki mélyen, de minden pár egyszerre, egymástól teljesen függetlenül folytat párbeszédet. A CDMA ahhoz hasonlít, mintha minden pár egyszerre beszélne, de más-más nyelven. A franciául beszélő páros csakis a francia nyelvre figyel, és minden egyebet zajként kezel. Ennek megfelelően a CDMA kulcsa az, hogy képesek legyünk kiszűrni a hasznos jelet, miközben minden egyebet eldobunk, mintha véletlenszerű zaj lenne.

Walsh-kód:

Töredéksorozat: bizonyos méretű sorozat, melyet ha elküldünk olyan mintha egy db-1-et küldenénk, ha negáltját küldjük egy db 0-át küldenénk (általában $m=64$ v 128 (méret))

Minden állomás kap egy ilyen sorozatot melyek egymással **ortogonálisak** (szorzatösszegük 0)

Ha önmagával szorzatösszegezzük akkor 1-et kapunk ha negáltjával akkor -1-et

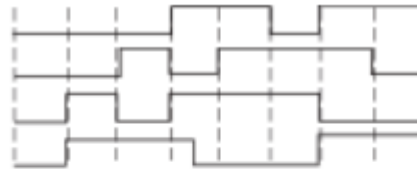
A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)

B = (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)

C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)

D = (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

(a)



(b)

$S_1 = C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$

$S_2 = B + C = (-2 0 0 0 +2 +2 0 -2)$

$S_3 = A + B = (0 0 -2 +2 0 -2 0 +2)$

$S_4 = A + B + C = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$

$S_5 = A + B + C + D = (-4 0 -2 0 +2 0 +2 -2)$

$S_6 = A + B + C + D = (-2 -2 0 -2 0 -2 +4 0)$

(c)

$S_1 \cdot C = [1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1]/8 = 1$

$S_2 \cdot C = [2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2]/8 = 1$

$S_3 \cdot C = [0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2]/8 = 0$

$S_4 \cdot C = [1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1]/8 = 1$

$S_5 \cdot C = [4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2]/8 = 1$

$S_6 \cdot C = [2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0]/8 = -1$

(d)

Példában a, az állomások töredéksorozata, b küldött jel, c példaátvitel, d jel visszaállítása (jön pl s6 esetében ABCD állomás beszél egyszerre, kíváncsiak vagyunk a C-re, ezért vesszük a jellel vett szorzatösszegét és elosztjuk m-mel, kijön hogy -1 tehát éppen negált jelet küldött a C állomás (0-ás bitet jelent))

eredmények : 1 = 1 , 0= nem beszélt, -1= (negált tehát) 0

zajmentes CDMA-rendszerben a párhuzamosan adó állomások száma korlátlanul nagy lehet, hosszabb töredéksorozatok használatával. állomás esetén a Walsh-kód darab hosszúságú ortogonális töredéksorozatot tud biztosítani

használgák: mobilhálózatok, műholdak, kábelhálózatok

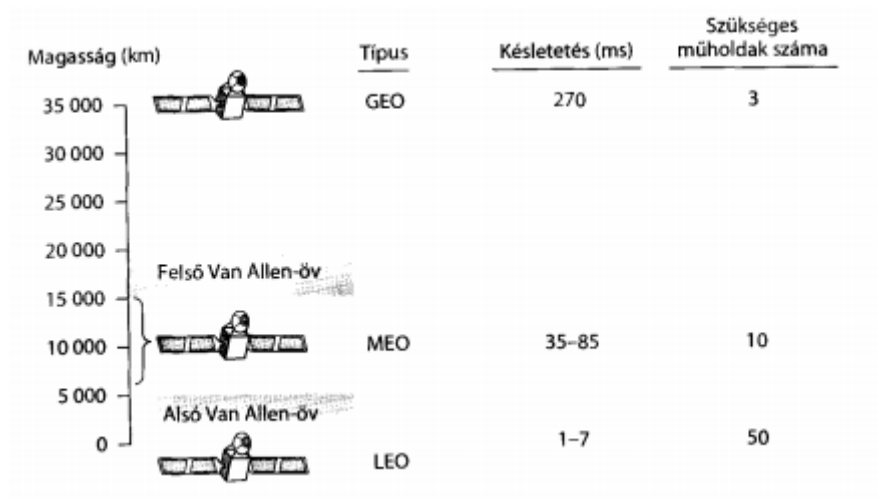
4. Műholdas hálózatok

Kommunikációs műholdak

Először léggömbökkel akarták, majd a holdat használták, majd mesterséges holdakat (műhold) küldtek fel melyek erősítve is vissza tudták küldeni a jelet.

Műhold: transzponder nézi a spektrum egy részét, jelet visszaküldi más frekvencián hogy elkerülje az eredetivel az interferenciát (hajlított cső mód), de digitális feldolgozással javítani lehet a jelet visszaküldés előtt, lefelé menő nyaláb lehet széles, szórt, vagy keskeny célzott

Keringési idő (periódusidő) függ a földfelszínhez való közelségtől



Felszínhez közel a keringési idő kb 90 perc, így ezek a műholdak elég gyorsan eltűnnek a szemek elől ezért sokra van szükség hogy lefedjünk velük mindent.

Van Allen-öv: a Föld mágneses mezeje miatt fogságba esett erős töltésű részecskék, hamar tönkretennének egy műholdat ezért azokat ki kell hagyni

Geostacionárius műholdak:

geostacionárius: földhöz képest mozdulatlan

35 800km, legfelső réteg

műholdaknak távol kell lenniük egymástól hogy ne zavarják egymást, a teljes káoszt az ITU akadályozza meg a keringési pályák kiosztásával

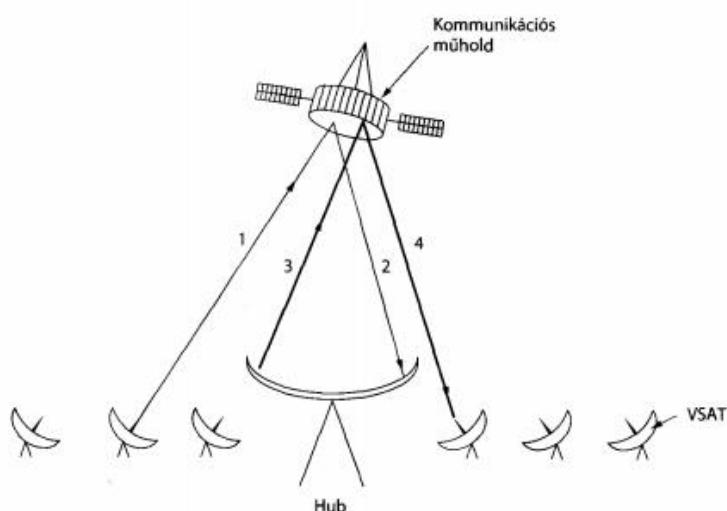
station keeping: kis rakétahajtóművekkel mennek biztosra hogy nem mozdul el a műhold (10 év után elfogy az üzemanyag, akkor a műholdat kikapcsolják és egy idő után belép a légkörbe ahol elég vagy lezuhan)

Sáv	Lefelé irányuló	Felfelé irányuló	Sáv szélesség	Problémák
L	1,5 GHz	1,6 GHz	15 MHz	Kis sáv szélesség, zsúfolt
S	1,9 GHz	2,2 GHz	70 MHz	Kis sáv szélesség, zsúfolt
C	4,0 GHz	6,0 GHz	500 MHz	Földi interferencia
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Eső
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Eső; eszközök költsége

Frekvenciaeloszlás is problémás, alpból volt a C, de interferált a földi mikrohullámokkal, ezután L és S melyek kis sáv szélességet biztosítottak és zsúfoltak, ezután a Ku, de az eső a rövid mikrohullámot könnyen elnyeli így több állomás kell az eső megkerülésére ami drága, illetve Ka ahol az eszközök drágák

Műhold lábnyoma: amit lefed, régen nagyon nagy volt, idővel egyre pontosabb tudott lenni (pontnyaláb)

VSAT: kis költségű mikroállomás, rövid antenna, pár Mbit/s fogadóképesség, főleg tv adások



Ezek a kis VSATok viszont nem rendelkeznek elég erővel hogy egymással kommunikáljanak, így használnak egy HUB-ot ami erősítőként működik kb

Műholdak viszont nagy késleletést eredményeznek $\sim 300\text{ms}$, VSATokkal $\sim 500\text{ms}$, míg kábeleknél $3\text{-}5\mu\text{s/km}$

Mivel a műholdak adatszóró közegként viselkednek így ugyanannyi egy állomásnak küldeni valamit mint szétszórni az egész lábnymon, előnyös egyes esetekben, biztonsága viszont borzalmas emiatt (titkosítani muszáj ha olyan). Előnye még az azonnali telepíthetőség (katasztrofaesetekre pl), nem függ a megtett távtól a költség

Közepes röppályás műholdak:

MEO műholdak, két Van Allen-öv között

Lassan sodródnak a hosszúsági vonalak mentén, 6 óránként megkerülik a földet, 20 200 km magasan

Kisebb lábnym, kisebb adók is elegek mert közelebb vannak, GPS használja főleg

Alacsony röppályás műholdak:

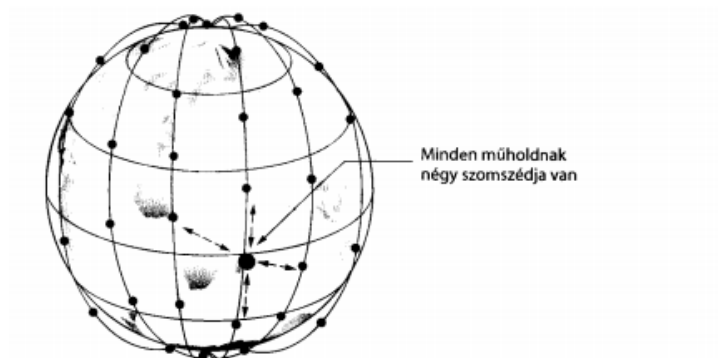
LEO

gyors mozgás miatt sok szükséges egy teljes rendszerhez, viszont nem kell messzire vinni a jelet, könnyebb, és kisebb a késleltetés

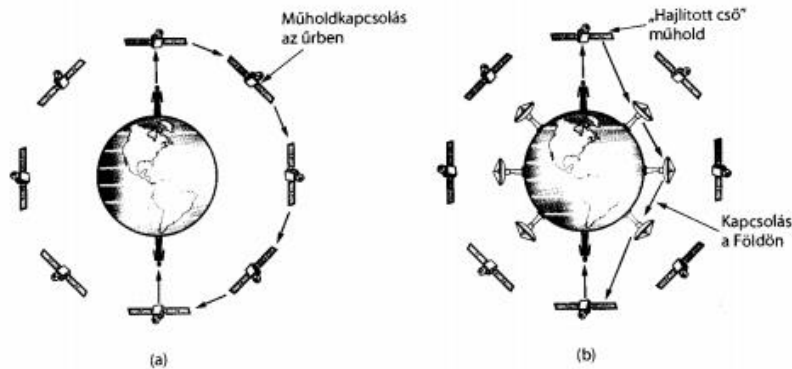
750 km magasság

Iridium műholdak: 77 darabot akart felküldeni a Motorola (77-es számú elem az iridium, de 66 lett fellőve de a név maradt), azzal a céllal hogy amint egy kilép a látótérből egy másik egyből belép

használgák: hang, adat, hívás, navigációs szolgáltatás, földön vízen levegőben



2.18. ábra. Az Iridium-projekt műholdjai hat láncot alkotnak a Föld körül



2.19. ábra. (a) Átjátszás az űrben. (b) Felszíni átjátszás

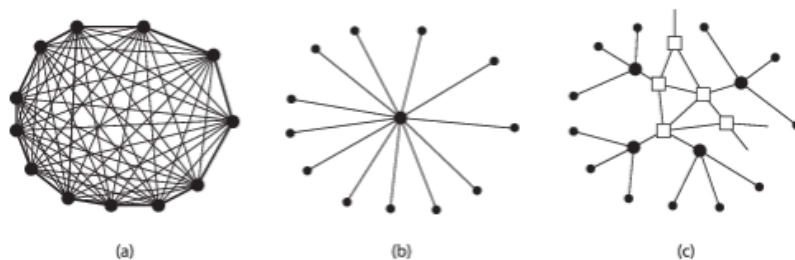
Globalstar: 48 LEO műhold, lényege hogy az átjátszás a földön történik ahol a bonyolultabb dolgokat könnyebb kezelni

CubeSat: 10x10x10 cm-es, 1kg-nál kisebb kockákból álló egységek, olcsó, a hordozórakéta felrepíti magával más kereskedelmi küldetések alkalmával

5. A vezetékes telefonhálózat: felhasználói hurok és a központok közötti átvitel

Egy nagy hálózatot nem egyszerű kábelekkel kialakítani a fizikai problémák miatt (kábeleket el kell vezetni valahogy, vannak helyek ahol nem is szabad stb stb). A még meglévő kiépített hálózatokkal nincs probléma viszont az „utolsó néhány kilométerrel” van, ami azt jelenti hogy egy kiépített hálózattól pl pár kilométerre már nehezebb eljuttatni az adatot, és mire kiépítik oda is a kábeleket az sok időbe telhet. Ezért kitalálták hogy amíg ez megtörténik addig a már meglévő telefonos hálózatokat (PSTN, nyilvános kapcsolt telefonhálózat) használják az állomásig adattovábbításra.

2.29. ábra - Különböző távbeszélőrendszer-topológiák. (a) Teljesen összekapcsolt hálózat. (b) Központosított kapcsoló. (c) Kétszintű hierarchia



Régen minden házat minden házzal összekötötték, majd házakat egy központtal, majd központokat központokkal stb

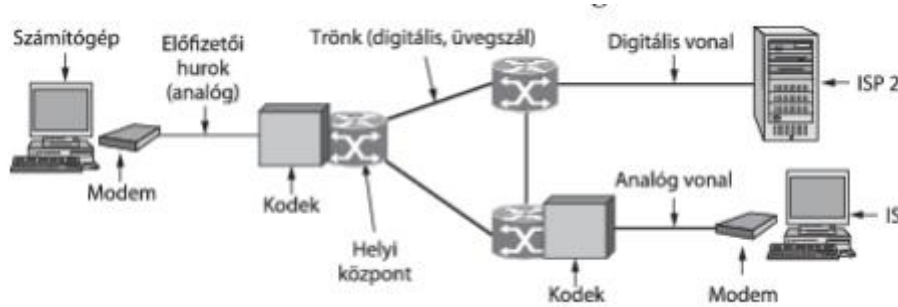
A telefontól a helyi központhoz menő kábel az **előfizetői hurok**

Ha egy telefon hív egy ugyanahoz a helyi központhoz kapcsolódó másikat, akkor közvetlen elektromos kapcsolat alakul ki a kettő között, ha messzebbre akkor távhívóközpontot használnak. Helyi és távhívó központ közti vonalak a **helyközi trónkók**. Ha a hívó és a hívott nem ugyanahoz a távhívó központhoz tartoznak akkor egy szinttel magasabban jön létre a kapcsolat, a nagy sáv szélességű **központi trónkók** segítségével



Ezek az összefogó kábeleken multiplexelést használnak, FDM, TDM (3-as tétel)

Hogy biteket lehessen küldeni, át kell alakítani őket egy analóg jelsorozattá, melyet a modem végez



(alapvetően mint fent említve volt átmenetileg a már kiépített telefonvonalakat használják adattovábbításra de nyilván nem erre lett kitalálva így sokkal lassabb)

Mivel lassabb ezért gyorsították, de ez érzékenyebbé tette a jelet a zajra, ezért a minták egy részét hibajavításra használják: TCM

V.32: 32 csillagképpontot használ 4 bit továbbításához, és 1 ellenőrzőbitet, 2400 baid 9600 b/s

V.32 bis: 6adatbit 1 paritásbit, 14 400b/s, 2400 baud

V.34: 28 800 b/s, 12 adatbit, 2400 baud, 1000 pontos csillagkép

V.34 bis: 14 adatbit, 2400 baud, 33 600b/s

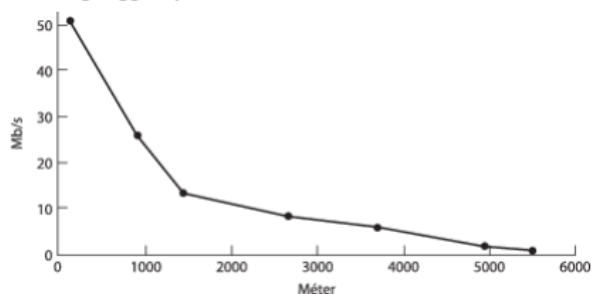
Itt megáll a fejlődés mert a rendszer Shanon korlátja 35kb/s, ez akkor ha két gép kommunikál, de ha pl gép – internetszolgáltató akkor csak egy helyen van hurok, ezért 56kb/s-et tudnak használni a letöltésre

Mire eljutottak idáig a telefontársaságok addigra műholdak már 50Mb/s-nél jártak, ezért fejleszteni kellett

DSL : digitális előfizetői vonal

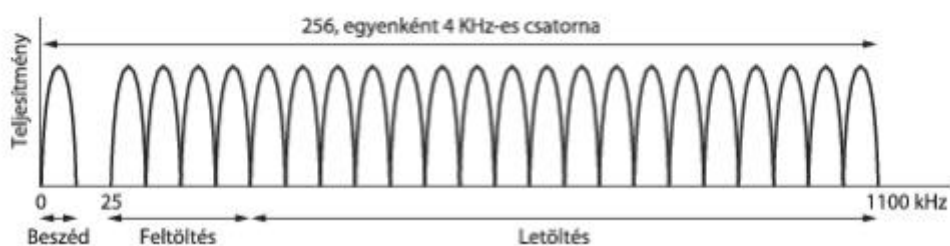
Annyit tesz hogy alaptól a telefonvonalak beszédtoábbításra voltak optimalizálva így 300-3400Hz-en kívül eső tartomány egyszerűen levágták, de ha előfizetél akkor ez a vágás nem történt meg, így nőtt a sáv szélesség de a zaj is

2.33. ábra - A DSL-en keresztül 3-as kategóriájú UTP-vel elérhető adatsebesség : távolság függvényében



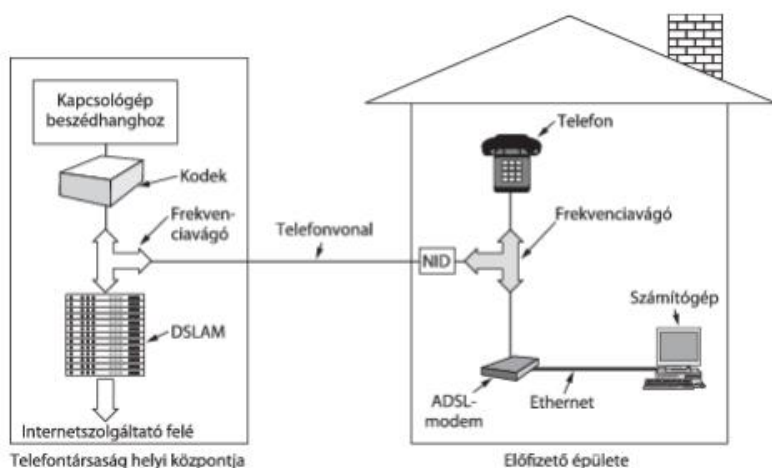
ezért létrejött az ADSL (assymetric DSL), ahol felosztották az elérhető sávszélességet

2.34. ábra - ADSL működése diszkrét többtónusú modulációval



Asszimetrikus: több letöltés mint feltöltés, mert többeit tölt le az általános felhasználó mint fel

Általános ADSL felépítés, NID = Network interface device (meghuzza a határt h a telefontársaság tulajdona és a felhasználóé között)



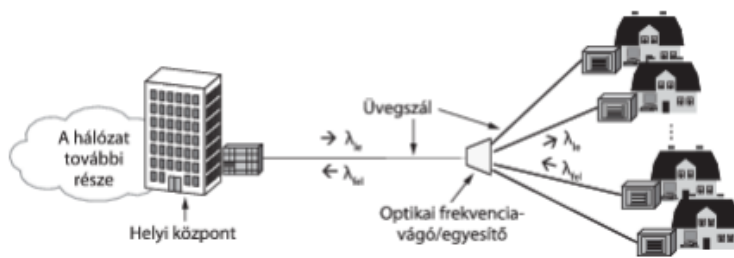
Frekvenciavágó: 0-4000Hz közötti jelet kiszűri (beszédnek fentartott)

Telefontársaság frekvenciavágó: 0-4000Hz jelet küldik beszédnek, többet internetszolgáltató felé

DSLAM : dekódol

Ftth: Fiber to the Home: Amikor megjelent az igény nagy letöltési sebességre, elkezdték a réz előfizetői hurokat lecserélni üvegszál kábelre mindenhol

2.36. ábra - Passzív optikai hálózat FttH-hoz



PON

Trónköknél (minden ami a felhasználói hurok után történik) viszont multiplexelést használnak, mert itt már bitet továbbítanak nem hangot (digitálisan, nem analógot), viszont ehhez át kell alakítani az analóg jelet digitálissá

Hangjelek digitalizálása:

TDM : csak digitális

FDM : csak analóg

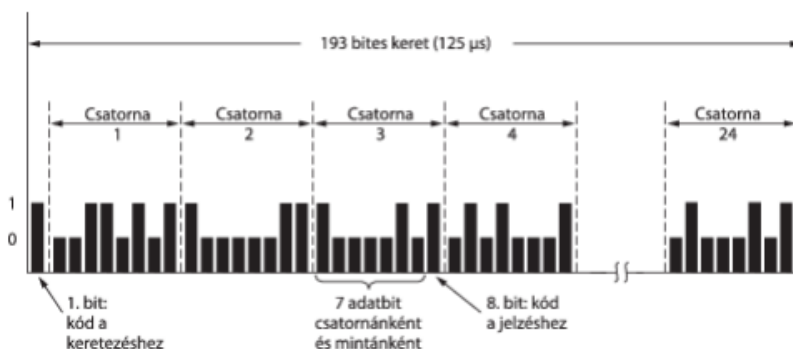
A központban (innenről megint telefonkábelekről van szó) egy kodek alakítja át a jelet ezt hívjuk PCM-nek (pulse code manipulation)

Kvantálás: bizonyos időközönként mintát kell venni a jelből hogy digitálissá lehessen alakítani, hiba csökkentése érdekében ezeket a szinteket egyenlőtlenül osztják fel

TDM-et arra használják hogy egyszerre több hívást vigyenek át a trónkőn, de erre több inkompatibilis szabvány létezik

T1: 24-csatornát nyálából egybe (É-amerika, japán)

2.37. ábra - T1 vivő (1,544 Mb/s)



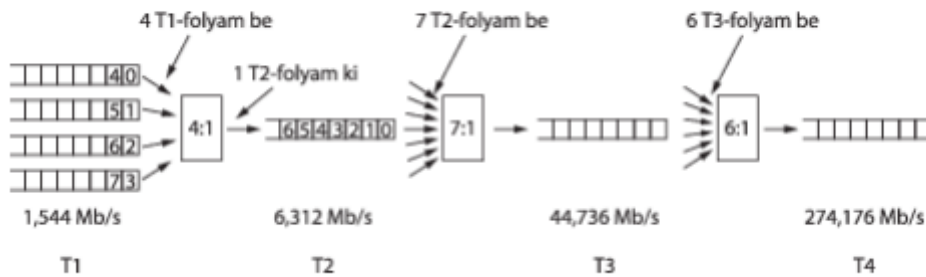
Sávon belül információt küld, minden 8 bitenként egyet (csatornához kapcsolódó jelzés)

Elrabolt-bit: 1-2 bit hiányát senki nem fogja észrevenni egy telefonbeszélgetésben, de adattovábbításban ez nem így megy, T1 régebbi változatai 8bitből 7et vittek át, ezért később külön csatorna volt adattovábbításra

E1: mindenhol máshol, 32 csatorna, 30 adatátvitelre 2 jelzésre

A TDM lehetővé teszi több T1 multiplexelését T2-re pl (nagyobb a T nagyobb a sebesség)

2.38. ábra - T1-vivők multiplexelése nagyobb vivőkre



SONET : Ezek az eljárások egységesítése, európa amerika és japán digitális rendszereinek egységesítése, több digitális csatorna multiplexelése minél nagyobb mértékké

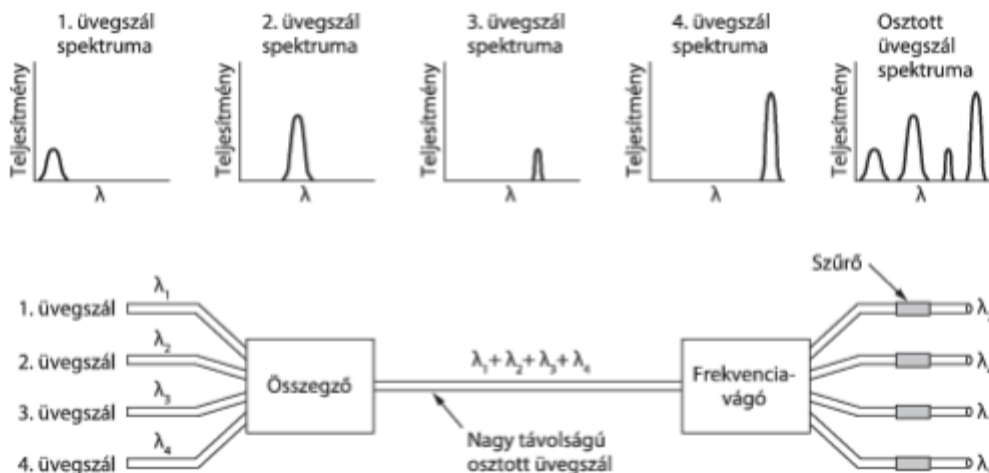
Tartalmaz egy keretet (810 báj), amit mindig elküld ha van adat ha nincs, és ez kompatibilis a PCM csatornákkal is

Hullámhosszosztásos multiplexelés(WDM):

Frekvenciaosztásos és időosztásos multiplexelést is használnak az üvegszálal csatornák teljes kihasználásához

Lényeg hogy több hullámhosszot egybe nyalábolnak, majd a végén szétszednek úgy hogy a szűrők csak egy bizonyos hullámhosszt engednek át

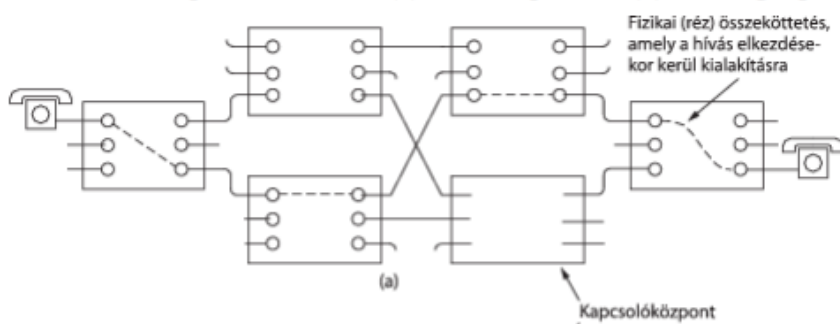
2.41. ábra - Hullámhosszosztásos multiplexelés



Kapcsolódási módok:

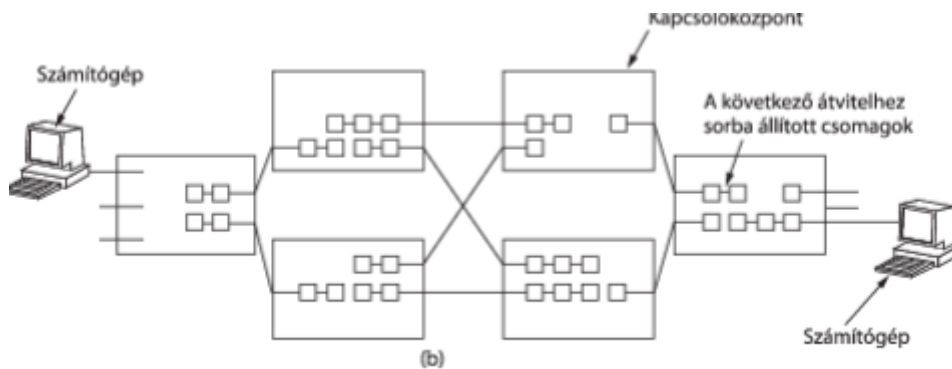
Vonalkapcsolás:

Ha hívást indítunk akkor fizikailag létrejön a két fél között a kapcsolat, valamilyen kábelekkel vagy akár rádióhullámmal, akár több kapcsolóközponton keresztül. A kapcsolat a hívás végéig fennáll. A kapcsolatot még az adatok továbbítása előtt létre kell hozni. Ezért a hívás és a kicsöngés között 10 másodperc is eltelhet ami egyes esetekben megengedhetetlen. Viszont ha egyszer létrejött a kapcsolat onnantól csak a hullámok terjedési sebessége szab határt, tehát nagyon kicsi a késés.

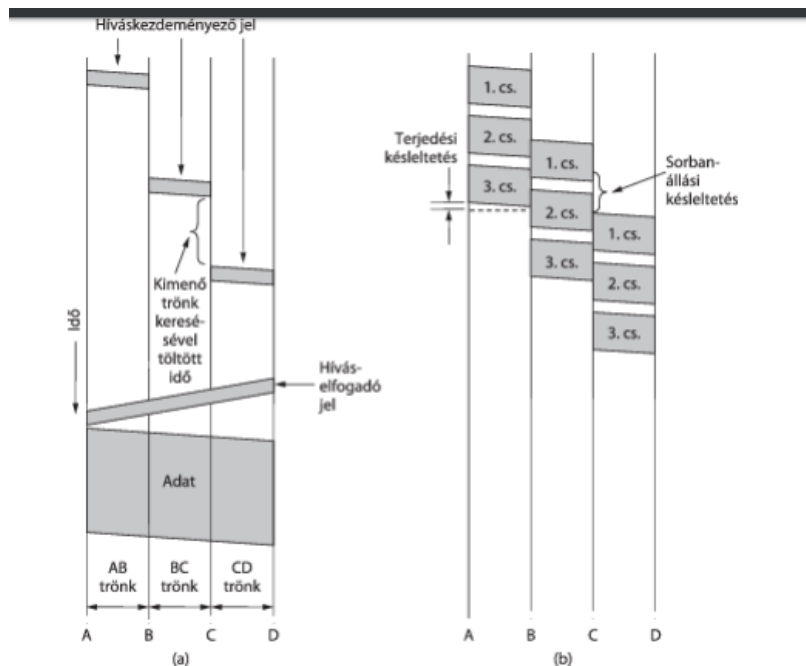


Csomagkapcsolás:

Itt a csomagok átküldésre kerülnek amint rendelkezésre állnak, majd ezeket tárolja az útválasztó és egyszerre tovább küldi őket. A tárolás miatt a késleltetés nagyobb, a csomagoknak meghatározott maximális mérete van hogy ne tudják sokáig lefoglalni a vonalat. A sorrendre is figyelni kell mert nem biztos hogy jó sorrendben érkeznek meg. Előfordul hogy a csomagoknak várniuk kell (sorbanállási késleltetés), torlódnak. Kevésbé érzékeny a hibákra.



A vonal, B csomag



összehasonlítás:

Tulajdonság	Vonalkapcsolt	Csomagkapcsolt
Összeköttetés felépítése	Szükséges	Nem szükséges
Dedikált fizikai útvonal	Igen	Nem
Minden csomag ugyanazon az útvonalon halad	Igen	Nem
A csomagok sorrendben érkeznek meg	Igen	Nem
Egy kapcsoló kiesése végzetes	Igen	Nem
Rendelkezésre álló sávszélesség	Rögzített	Változó
A torlódásnak lehetséges ideje	Összeköttetés keletkezésekor	Minden csomagnál
Veszteség kárva sávszélesség	Igen (ha lefoglalják de nem használják)	Nem
Tárol és továbbít átvitel	Nem	Igen
Számlázás	Perc alapon	Csomag alapon

6. A mobil telefonhálózat

Kiépíthetjük a legfaszább kábeleket minden ügyfél számára, azok az emberek akik utaznak sosem lesznek elégedettek. Egyre nő az igény (írja a könyv 2013ban) hogy vezeték nélkül is telefonálhasson v netezhessen az ember a mobiljáról.

Telefonok három generáción mentek keresztül:

1. analóg beszédátvitel,
2. digitális beszédátvitel,
3. digitális beszéd- és adattovábbítás (internet, e-levelezés stb.)

Európában egységesített rendszer van a GSM, a hívó fél fizet és látja a telefonszámon hogy vonalast hív vagy mobilt

Amerikában 2 rendszer van amik nem kompatibilisak, a fogadó fél fizet és nem lehet látni a számon h vonalas vagy mobil

Ezen kívül van a feltöltőkártya ahol előre megadott pénzig lehet telefonálni utána fel kell tölteni, hasznos pl gyerekeknek

Első generációs (1G) telefonok : analóg beszédátvitel

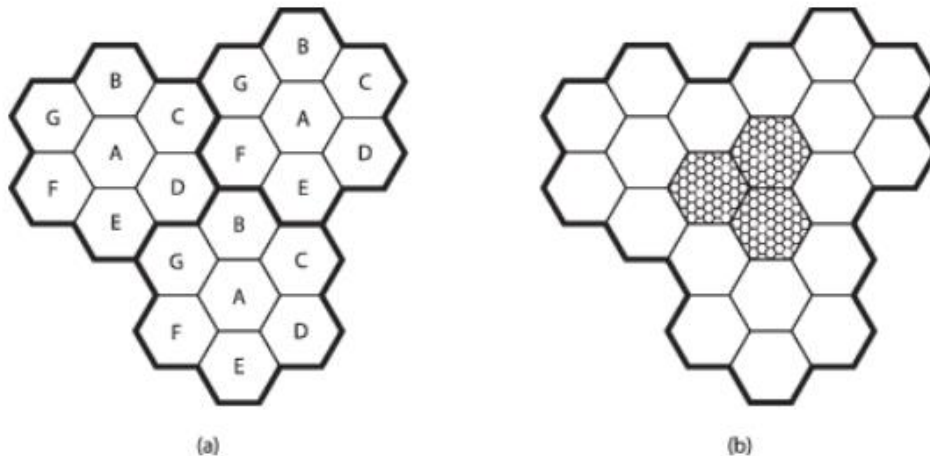
Legelőször egy nagy adó, és aki beszélni akar az megnyom egy gombot ami kiiktatta a vevőt és bekapcsolta az adót, átkapcsolásos rendszer (push-to-talk, walkie-talkie végűlis)

IMTS : fejlett változat ahol nem kell gombot nyomni, 2 frekvencia, de csak 23 csatorna (egyszerre 23 ember tudott telefonálni)

AMPS: (advanced mobile phone system)

cellákat alkalmaz, 10-20km egy darab, minden cella kap egy frekvenciahalmazt, de egymás melletti cellák nem kaphatják ugyanazt, de párral odébb már igen, így újra fel lehet használni a frekvenciákat
→ nő a kapacitás

Ha ennél is nagyobb kapacitás kell (sok felhasználó vagy valami esemény esetén), ezeket még kisebb mikrocellákra bontják ahol még több (b ábra) frekvencia lesz így elérhető



Minden cellában van egy bázisállomás ami minden mobillal kapcsolatban áll, és ezek a bázisállomások csatlakoznak egy **MSC**—hez (mobile switching centre) (nagyobb rendszerek esetén ezek csatlakozhatnak egy második szintű msc-hez stb), kapcsolatban állnak csomagkapcsolt módon

Handoff: ha a bázisállomás érzi hogy egy mobil jele gyengülni kezd, körbekérdez hogy melyik másik állomás érzi ezt a jelet, és továbbadja a legerősebbnek, majd felkéri a telefont hogy váltson csatornát (mivel a régit nem használja hiszen elhagyta), ezt az MSC végzi

FDM-et használ

832 duplex csatornát használ, melyek szimplex csatornapárokból (egy fel egy le) állnak → elnevezése FDD (frekvenciaosztásos kettőzés)

Híváskezelés: AMPSben minden telefon rendelkezik egy 32 bites gyári számmal és 34 bites hívószámmal. Amikor a telefon bekapcsol ezeket szétküldi és a bázisállomás ezt jelenti az MSC-nek. Az feljegyzi és tájékoztatja a telefon saját MSC-jét erről a tényről.

Hívás kezdeményezésnél kell egy hívott szám, és ha a hívó az MSC üzemeltetőjének előfizetője akkor megkezdődik a hívás és a telefon a kiválasztott csatornára vált.

Hívásfogadásnál a telefonok folyamatosan nézik jön-e nekik értesítés. Az MSC megkapja a parancsot hogy fel akarnak hívni egy telefont ami az övé, ekkor körbekérdez hogy ittvan-e a telefon. Ha a telefon igennel válaszol, akkor jelzi neki hogy x-csatornán hívása van y féltől, és a telefon elkezd csörögni.

Második generáció (2G), digitális átvitel

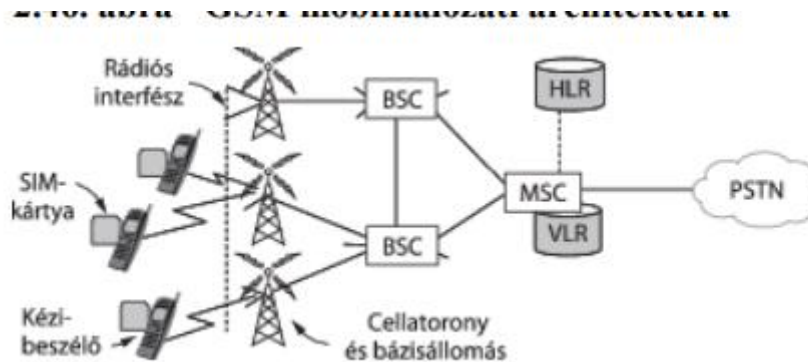
digitális → nagyobb kapacitás, sebesség, biztonság, új szolgáltatások pl sms

D-AMPS: digitális AMPS

GSM: global system for mobile communications

Megtartotta a cellás felépítést az átadással csak a részletek mások

A mobil két részre van osztva, készülékre és egy előfizetői számlainformációt tartalmazó chipre : SIM kártyára



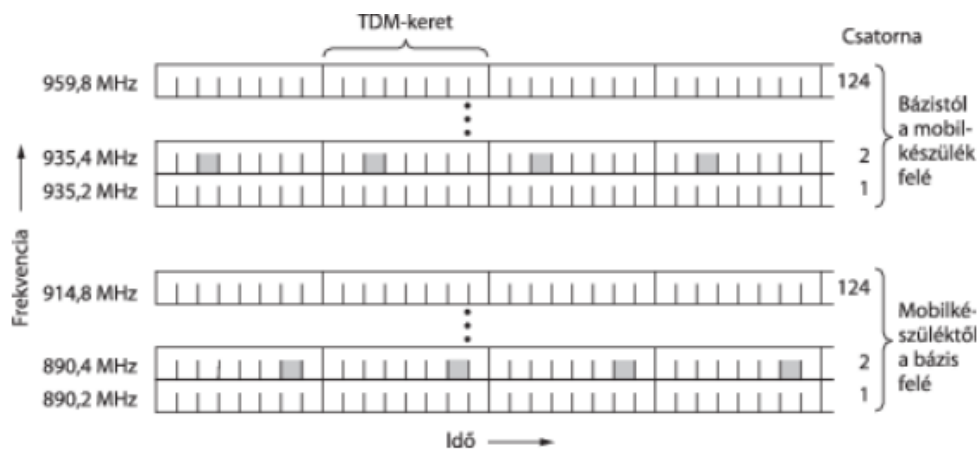
Minden cella bázisállomása BSC-hez kapcsolódik, (base station controller) melyek MSC-hez

VLR: (visitor location register) az msc listája az általa kezelt cellákban található telefonokról

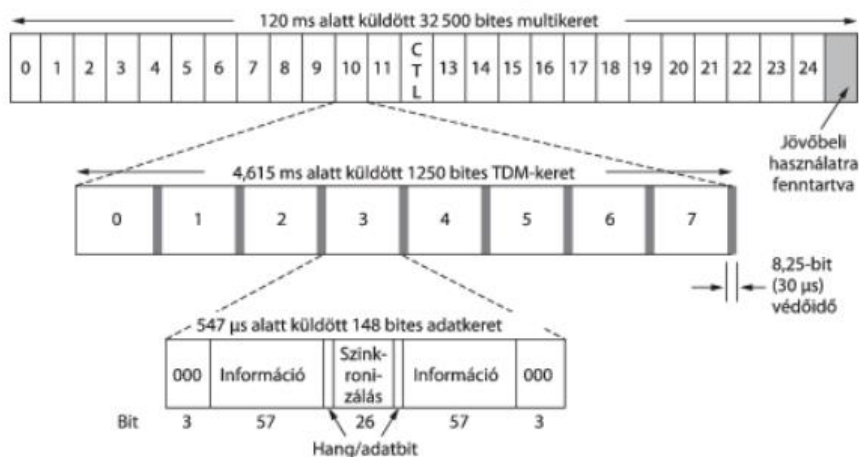
HLR: (home location register) az összes mobil utolsó ismert helye

Ezek vezérlik a hívást a megfelelő helyre, ezeket naprakészen kell tartani ahogyan a telefon változtatja a helyét

2 csatornát használ, 1-et fel egyet le, de GSM nem tud egyszerre adni és venni ezért el vannak tolvá



2.48. ábra - A GSM keretkezési struktúra egy részlete



Körözvény-vezérlési csatorna: a bázisállomás által generált folytonos adatfolyam, amely a bázisállomás azonosítóját és a csatorna állapotinformációját tartalmazza. Az összes mobilállomás figyeli ennek a csatornának a jelszintjét annak megállapítására, hogy mikor léptek át egy újabb cellába.

Megkülönböztetett vezérlési csatorna: szolgál a helymeghatározás, a regisztráció, valamint a hívásfelépítés lebonyolítására

Közös vezérlési csatorna: három alcsatornából áll:

Felhívási csatorna: bázisállomás jelzi a beérkező hívásokat, az összes állomás figyeli hívások után kutatva amire válaszolniuk kell

Véletlen hozzáférésű csatorna: felhasználók ezen keresztül kérnek időszletet

Hozzáférés-engedélyező csatorna: itt kapnak értesítést ha megkapták

GSM esetén a handoff úgy működik hogy míg a telefon vár, addig méri a bázisállomásokhoz a jelerősségét, és ha érzi hogy elhagy egyet jelzi azt neki (MAHO : mobil assisted handoff)

Harmadik generáció (3G) : digitális beszéd és adatátvitel

egyre nőtt az igény telefonokra, illetve azzal való adattovábbításra ezért kitalálták az IMT-2000-et ami egy világon egységes rendszer lett volna kíváló beszédtoábbítással, üzenetküldéssel, multimédiával és internetes hozzáféréssel, de nem valósult meg

Ezt követően jött a **WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access – széles sávú kódosztásos többszörös hozzáférés)** amely **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – univerzális mobiltávközlési rendszer)** néven vált ismertté.

Illetve jött a CDMA2000. Mindkét rendszer a széles sávú CDMA-ra épül.

A másik tételben leírt CDMA-t viszont nem lehet alkalmazni, mert az a töredéksorozatok ortogonitására és szinkronjára épül, viszont egy áradásnál a szinkron megszakadhat ekkor megszűnhet az ortogonitás, ezért tovább kellett fejleszteni.

A trükk: álsorozatok használata melyek keresztkorrelációban vannak (ortogonálisak vagy szorzatösszegük közel áll a nullához), így ki tudjuk szűrni a nem kívánt adásokat, és ezek a sorozatok

autokorrelációja (eltolással szorzatösszege) kicsi ha nem 0, kivéve ha a késleltetés/eltolás pont 0. Ezzel a módszer ki tudjuk találni hogy pontosan honnan indult a sorozat.

Azért hogy elkerüljék a problémákat szabályozni kellett a telefonok átviteli jelszintjét, melyek korlátozzák a kapacitást.

Ez még lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy különböző sebességgel küldjenek adatokat. A trükk természetesen a CDMA-ban van megvalósítva azáltal, hogy a töredékek (chips) küldési sebessége rögzített, és a felhasználók töredéksorozataihoz különböző hossz van rendelve.

CDMA előnyei:

1. Javítja a kapacitást azzal hogy kihasználja azt a kis időt (arra hogy több egyidejű hívást kezeljen) amikor egy adó nem ad (okos rendszereknél ha vesz akkor nem ad), melyet a TDM és FDM túl lassú volt hogy kihasználjon
2. Minden cella ugyanazt a frekvenciát használja
3. Elősegíti a puha átadást (soft-handoff), ahol azelőtt felveszi a kapcsolatot az új bázisállomással mielőtt kijelentkezne az előzőről. Könnyű megvalósítani mivel minden cella minden frekvenciát használ

4G LTE (Long term evolution):

Nagy sávszélesség, jelenlét mindenütt, integráció más ip-hálózatokkal, kiváló minőségű multimédia

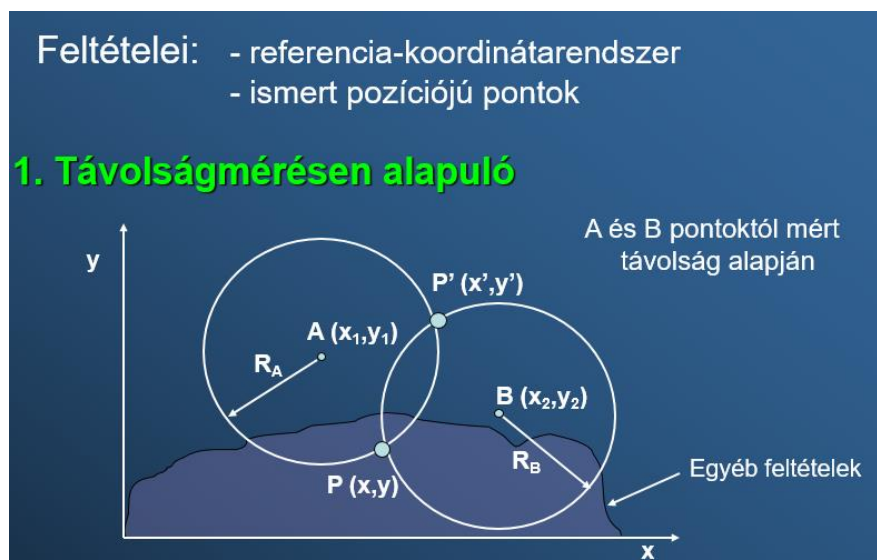
7. Pozíció-meghatározási módszerek

Helymeghatározó módszerek:

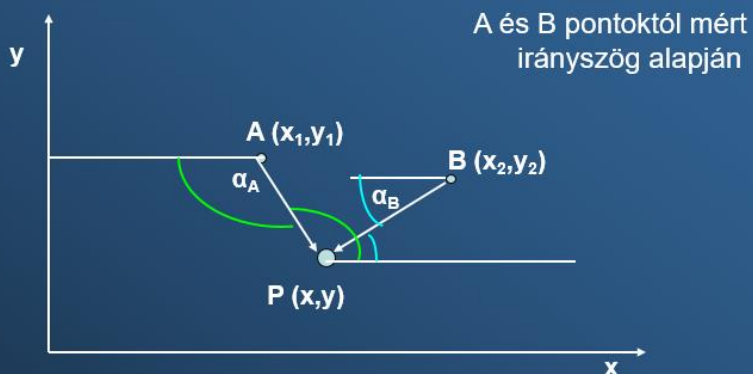
Viszonyítással: tereptárgyak, csillagok helyzete, nap állása

Tengeri navigáció: iránytű, szextáns (földrajzi szélesség), kronométer (hosszuság)

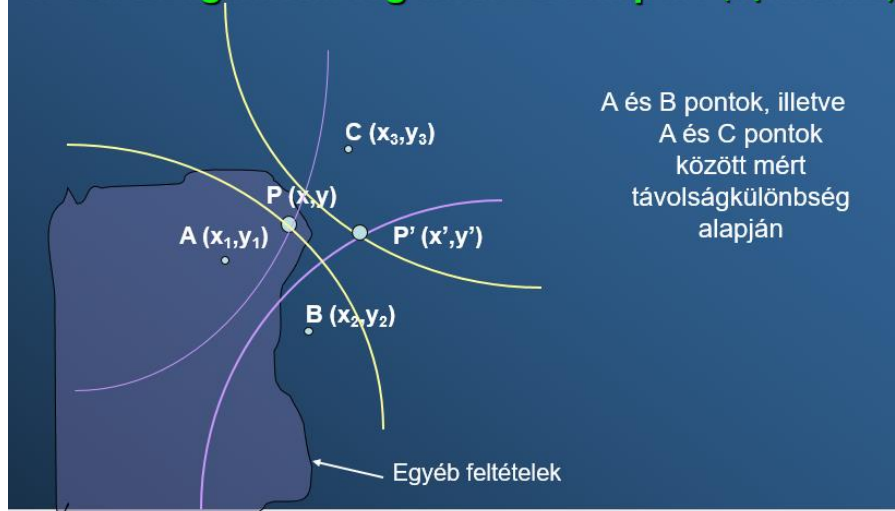
Légi navigáció: pozíció-meghatározási módszerek



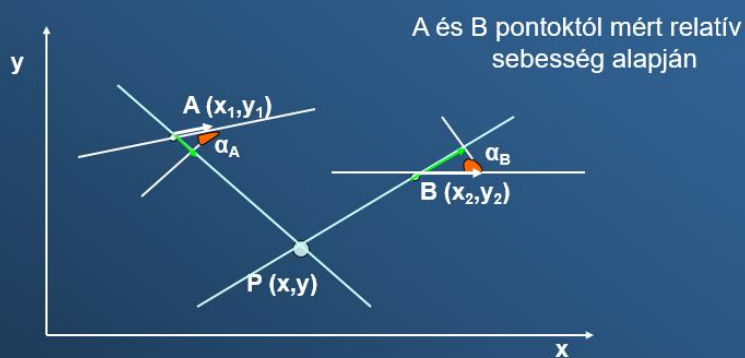
2. Iránymérésen alapuló



3. Távolságkülönbség-mérésen alapuló (hiperbolikus)

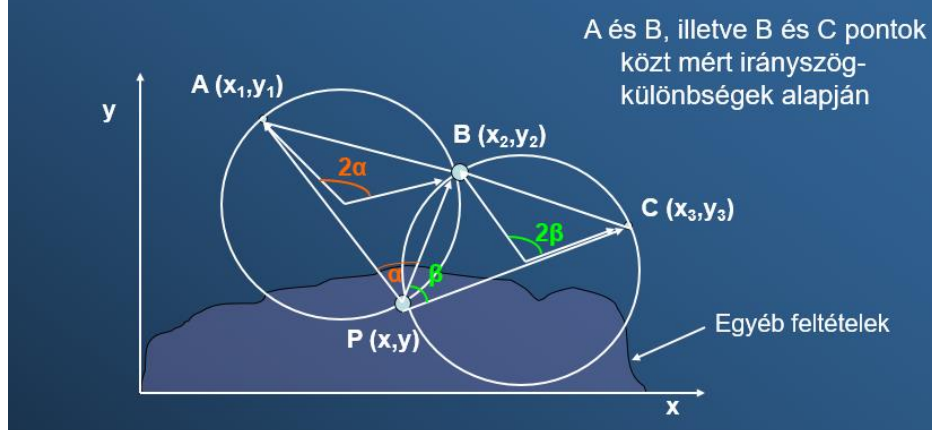


4. Sebességmérésen alapuló (Doppler-elv)



Ismert A és B helyzete, sebességének iránya és nagysága

5. Irányok közti szögekülönbség-mérésen alapuló



GPS

Rendszer fő elemei: Műholdak, felhasználói rendszer, földi állomások

Űrszegmens: 24 műhold, 6 pálya, pontos atomórák

Földi vezérlőrendszer: műholdak figyelése, vezérlése, órák szinkronizálása, adatok frissítése, pálya menedzselés

Működése: műholdak pozíciója ismert, jeleket sugároz, távolságmérésen alapuló pozíció-meghatározás

1 műhold → gömbfelület

2 műhold → körív

3 műhold → 2 pont

Földi pont → pozíció

távolságmérés = időmérés, időeltolódás mérése, a bejövő kód érkezési idejének észlelésével

CDMA

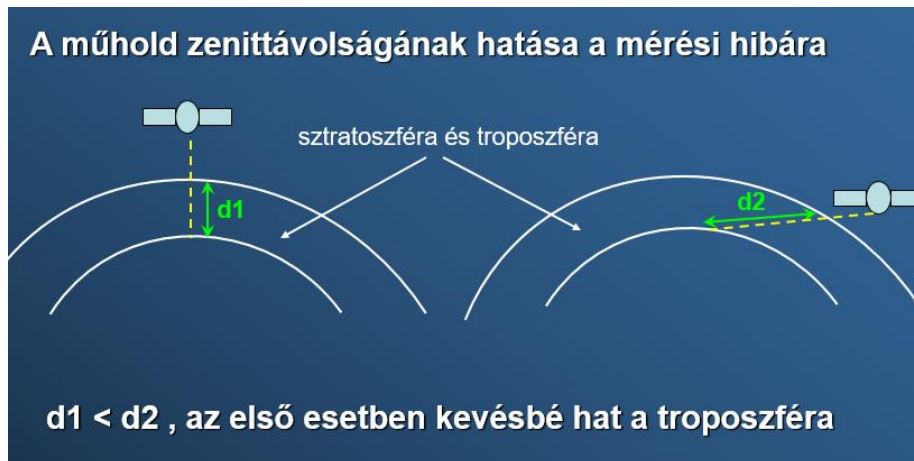
Hibatényezők: pontatlan vevőbeli óra : további műholdtól való mérés nem azonos pontban metsz, de a korrigációt kiszámítva meghatározható az óra hibája, 4 műhold kell a pontos méréshez

műhold elhelyezkedésének geometriája: minél közelebb vannak a műholdak annál nagyobb távolságbeli hatása van az időbeli hibának, megoldás: olyan műholdakat választunk melyek egyenletes el vannak osztva a horizonton

Műhold pályahibái, megoldás: földről modellezik a műholdra ható erőket, ebből kiszámítják a pályahibát, melyet elküld a műholdnak ami továbbküldi a vevőnek

Ionoszféra hatása: légkör magasan lévő ionizált része megtöri frekvenciától függően a rádióhullámot, megoldása: kétfrekvenciás mérés

Troposzféra hatása: a Föld légkörének elektromosan semleges alsóbb rétegei (sztratoszféra, troposzféra) frekvenciától függetlenül megtöri a rádióhullámokat és főleg a magasságmeghatározás pontosságát csökkenti, megoldás: 15 fok alatt látszó műholdak lépésből való kihagyásával



Többutas terjedés: a jel pattan valahonnan a készülékbe és a két jel kiüti egymást, megoldás: mérési pont jó meghatározásával

Műholdról érkező kód alacsony frekvenciájú, megoldás: vivő fázisának segítségével

DGPS

egymáshoz közeli pozíciókban (néhány száz km) a mérés adott műholdról közel azonos hibát produkál

- egy pontosan ismert pozíciójú referenciaállomás GPS mérést végez
- kiszámítja a mérés hibáját és azt továbbítja a többi GPS készüléknek
- utófeldolgozás módszere: a referenciaállomások utólag korrigálják a többi vevő által mért adatokat, nincs korrekciós jel sugárzás

pl. járműkövetés

Elérhető pontosság:

- SA mellett: 100 m
- SA nélkül, hagyományos GPS: 20-30 m
- DGPS:
 - SPS (Standard Positioning Service): 1 - 3 m (C/A kód)
 - PPS (Precise Positioning Service): 0.5 - 1 m (P-kód)
- Elméletileg a vivő fázisba hozásával: 3 - 4 mm

GSM alapú helymeghatározás:

- CI (cellaazonosító)
- Rxlev (a vett jel nagysága a saját és a környező 6 cella bázisállomásától)
- TA - Timing Advance (jelterjedési idő paraméter)

CI: a cellamérettel azonos helymeghatározási pontosságot ad (megadja melyik cellában vagyunk)

Rxlev: pozíciószámítás a szabadtéri csillapítás alapján

probléma: a bázisállomások nem konstans kisugárzott teljesítménye

TA: ha begyűjtjük a szomszédos cellákból is, az elérhető pontosság 100 m

Folyamata: - a GSM telefon mér és az eredményt továbbítja a felügyeleti központba (pl. SMS v. GPRS által)

- a felügyeleti központ feldolgozza az eredményt a tárolt alapján (mely tartalmazza a bázisállomások koordinátáit)

- a koordináták alapján további szolgáltatást nyújthat (vagy visszaküldheti azokat)