

## 5. Mintavételezés, visszaállítás

Napjaink digitális technológiájával a jeleket

- Processzorokkal dolgozhatjuk fel.  
(digitális jelfeldolgozással bonyolult algoritmusok is könnyen implementálhatók)
- Tárolásuk és
- továbbításuk jobb minőségi paraméterekkel valósítható meg.

A folytonos idejű  $x(t)$  jelből  $T$  időnként mintákat véve, majd ezeket a mintákat egy analóg-digitál átalakítóval számokká konvertálva állítjuk elő az  $x(nT) = x_n$  diszkrét idejű jelet (számsorozatot). (Ahol  $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ ).

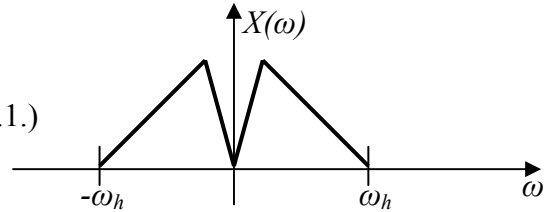
Az alábbiakban a visszaállíthatóság kérdését tekintjük át.

### 5.1. A matematikai mintavételezés:

Legyen  $x(t)$  folytonos idejű jel  $X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$  spektruma sávhatárolt.

A sávhatároltság azt jelenti, hogy:

$$X(\omega) = \begin{cases} X(\omega) & \text{ha } |\omega| < \omega_h \\ 0 & \text{ha } |\omega| \geq \omega_h \end{cases} \quad (5.1.)$$



( $X(\omega)$  véges tartójú a  $[-\omega_h, +\omega_h]$  tartományban.)

A mintavevő jel legyen:

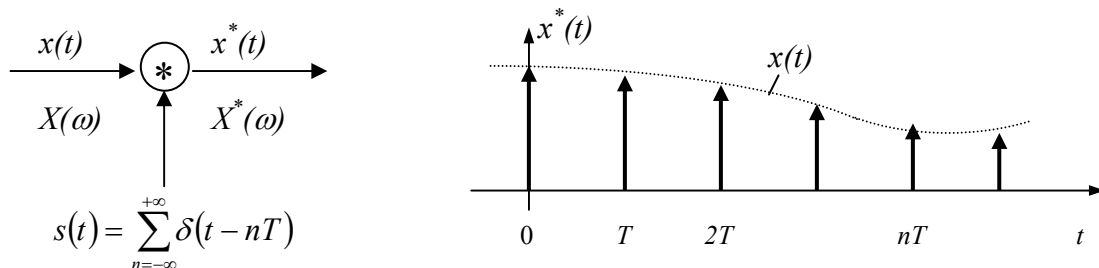
$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT) \quad (5.2.)$$

ahol  $\delta(t)$  az un. Dirac-delta függvény.

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{ha } t \neq 0 \\ \infty & \text{ha } t = 0 \end{cases} \quad \text{és} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - a)f(t)dt = f(a) \quad (5.3.)$$

A matematikai mintavételezés:

$$x^*(t) = x(t)s(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT)\delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \delta(t - nT) \quad (5.4.)$$



Az (5.4.) a mintavételezett jelnek olyan függvény leírását adja, melyben az eredeti jelnek csak a mintái szerepelnek. A *folytonos időben értelmezett*  $x^*(t)$  függvénynek a spektruma a szokásos módon, Fourier-transzformációval határozható meg:

$$X^*(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x^*(t) e^{j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT) x(t) e^{j\omega t} dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{j\omega nT} \quad (5.5.)$$

$$X^*(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{j\omega nT} \quad (5.6.)$$

Az (5.6.) adja meg azt az szabályt, hogy egy  $x_n$  idő-sorozathoz hogyan rendelhetünk hozzá spektrumot.

Másrészről a mintavételezett jel spektrumát ki tudjuk fejezni a folytonos-idejű jel  $X(\omega)$  spektrumával is. Ennek érdekében a mintavető  $s(t)$  jelet állítsuk elő Fourier-sorával:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} e^{jk\omega_s t} \quad (5.7.)$$

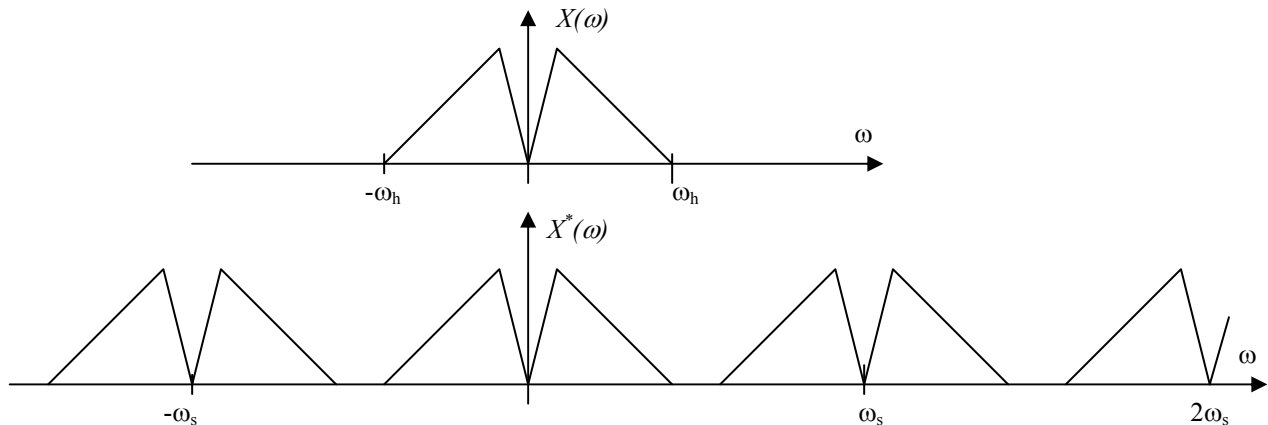
$$X^*(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) s(t) e^{j\omega t} dt = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} e^{jk\omega_s t} e^{j\omega t} dt = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{j(\omega - k\omega_s)t} dt \quad (5.8.)$$

Amiből:

$$X^*(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega - k\omega_s) \quad (5.9.)$$

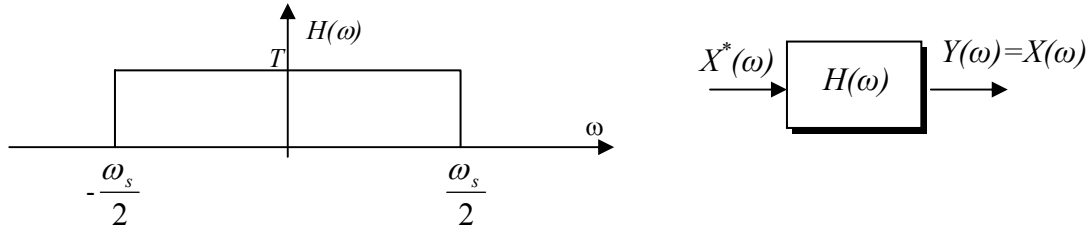
Ahol  $\omega_s$  a mintavételi (kör) frekvencia:  $\omega_s = 2\pi f_s = \frac{2\pi}{T}$  (5.10.)

Az (5.9.) azt mondja, hogy a mintavett jel spektruma a folytonos-idejű jel spektrumának periódikus kiterjesztéseként áll elő.



## 5.2. A folytonos-idejű jel visszaállítása

A visszaállítás a frekvenciatartományt tekintve kézenfekvő. Engedjük át a mintavételezett jelet egy  $\omega_s/2$  határfrekvenciájú ideális aluláteresztő szűrőn.



Az (5.9.)-ből láthatóan a frekvenciatartományban az alábbi összefüggést kapjuk:

$$Y(\omega) = H(\omega)X^*(\omega) = X(\omega) \quad (5.11.)$$

Az (5.11.) azt fejezi ki, hogy ha a mintavételi frekvenciát oly módon választjuk meg, hogy

$$\frac{\omega_s}{2} > \omega_h \quad (5.12.)$$

akkor a jel torzítás mentesen visszaállítható mintáiból egy ideális aluláteresztő segítségével.

Ha az (5.12.) feltétel nem teljesül, akkor a mintavételezéskor u.n. spektrum átlapolódás (aliasing) jön létre, ami olyan torzítást jelent, hogy a visszaállítás már nem lesz lehetséges.

Az időtartományban a szűrő  $y(t) = x(t)$  kimeneti jele a bemenő  $x^*(t)$  jel és a szűrő  $h(t)$  súlyfüggvényének a *konvolúciója*:

$$y(t) = x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (5.13.)$$

Az ideális aluláteresztő súlyfüggvénye:

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega)e^{j\omega t} d\omega = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} \quad (5.14.)$$

Az (5.4.)-et és az (5.14.)-et (5.13.)-ba helyettesítve majd az integrálást elvégezve kapjuk *Shannon mintavételi tételét*:

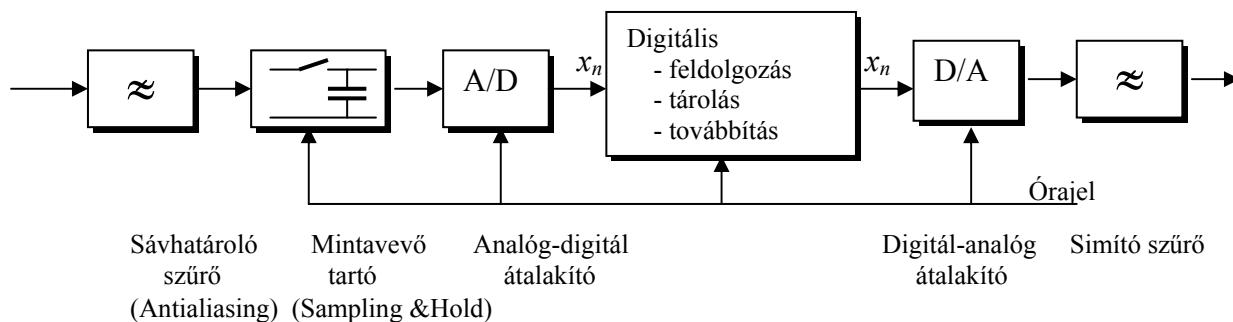
$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \frac{\sin(\pi(t-nT)/T)}{\pi(t-nT)/T} \quad (5.15.)$$

Mindez akkor igaz, ha:  $\omega_s > 2\omega_h$  !!!!

### 5.3. Az analóg-digitál és a digitál-analóg átalakítás megvalósítása:

Mintavételezés előtt a jelet egy aluláteresztő (anti-aliasing) szűrővel sávhatároltá tesszük. A mintavevő egy kapcsoló igen rövid idejű zárásával feltölt egy kondenzátort a jelfeszültség pillanatnyi értékére, mely kondenzátor tartja ezt a feszültséget még akkor is amikor a kapcsoló már nyitva van. A tartásra azért van szükség, hogy az analóg-digitál átalakító bemenetén a konverzió ideje alatt ne változzon a jel. A konverzió a jel nagyságának meghatározásából áll. A mérés eredménye az A-D átalakító kimenő jele: egy digitális, kettes számrendszerbeli szám, ami a minta pillanatnyi amplitúdójának felel meg.

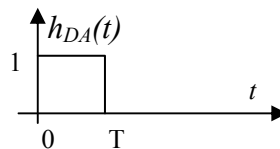
Látjuk, hogy a gyakorlati megvalósításban sehol nincs Dirac-delta jel, az ugyanis kivitelezhetetlen lenne. Az adott pillanathoz történő hozzárendelés a mintavétel időpontjában történik meg, utána már nem kell a jeleknek pillanat-szerűnek lennie. A diszkrét időpontokat az órajel jelöli ki. (Például egy négyszögjel felfutó élei.)



A visszaalakítás során a kimeneti (simító) aluláteresztő szűrőt véges energiájú jellel kell táplálni. A matematikai modellben a végtelenül keskeny impulzusoknak végtelenül nagyok kellett lenniük (Dirac-impulzusok) a véges energia érdekében.

A D-A átalakító a bemenetére érkező kódnak (számnak) megfelelő feszültség értéket tesz ki a kimenetére és ezt a feszültségértéket tartja is a következő minta megérkeztéig. (Ezt nevezzük nulladrendű-tartó funkciónak.) A véges energia így a véges amplitúdó és a véges idő ( $T$ ) következményeként adódik ki.

A nulladrendű tartó lineáris torzítást okoz, mely torzítás a simító szűrő megfelelő megválasztásával kompenzálható. A nulladrendű tartó súlyfüggvénye a  $t = 0$  időpillanatban a bemenetére adott egyetlen, egységnyi jelre adott válasza:



melynek az átviteli függvénye:

$$H_{DA}(\omega) = \int_0^T h_{DA}(t) e^{-j\omega t} dt = \left[ \frac{e^{-j\omega t}}{-j\omega} \right]_0^T = T e^{-j\omega \frac{T}{2}} \frac{\sin(\pi\omega / \omega_s)}{\pi\omega / \omega_s} \quad (5.16.)$$

Az (5.16.) szerinti átviteli függvény fázisa lineárisan, az amplitúdója  $\sin x/x$  függvény szerint függ a frekvenciától. A  $\sin x/x$  függvény reciprokával korrigálva a simító szűrő amplitúdó karakterisztikáját a  $[0, \omega_s/2]$  tartományban, a torzítás kompenzálható. Tehát (eltekintve a szűrők nem ideális voltától) a jel torzítás mentesen rekonstruálható a gyakorlatban is.

#### 5.4. Az egyenletes kvantáló jel-zaj viszonya

A mintavételezés következtében a folytonos idejű jeleket diszkrét idejűvé váltak. A digitalizálás ugyanakkor egy másik diszkrétizálást is maga után von. A folytonos amplitúdó eloszlású analóg jel a digitalizálás következtében véges szóhosszúságú kóddá alakul át. A véges szóhosszúság azt jelenti, hogy véges a kimeneti kódok száma, következésképpen a kimeneti jel amplitúdó eloszlása diszkrét lesz. Azt az eljárást, amelyben a lehetséges amplitúdók száma csökken, kvantálásnak nevezzük.

Kvantálón azt a memória-mentes, nemlineáris egységet értjük, melynek  $\eta$  kimeneti értékei diszkrétek és értékük csak a tetszőleges amplitúdójú  $\xi$  bemeneti minta pillanatnyi értékétől függ. A kimeneti diszkrét értékek csak a  $q$  kvantálási lépcső egész számú többszörösei lehetnek

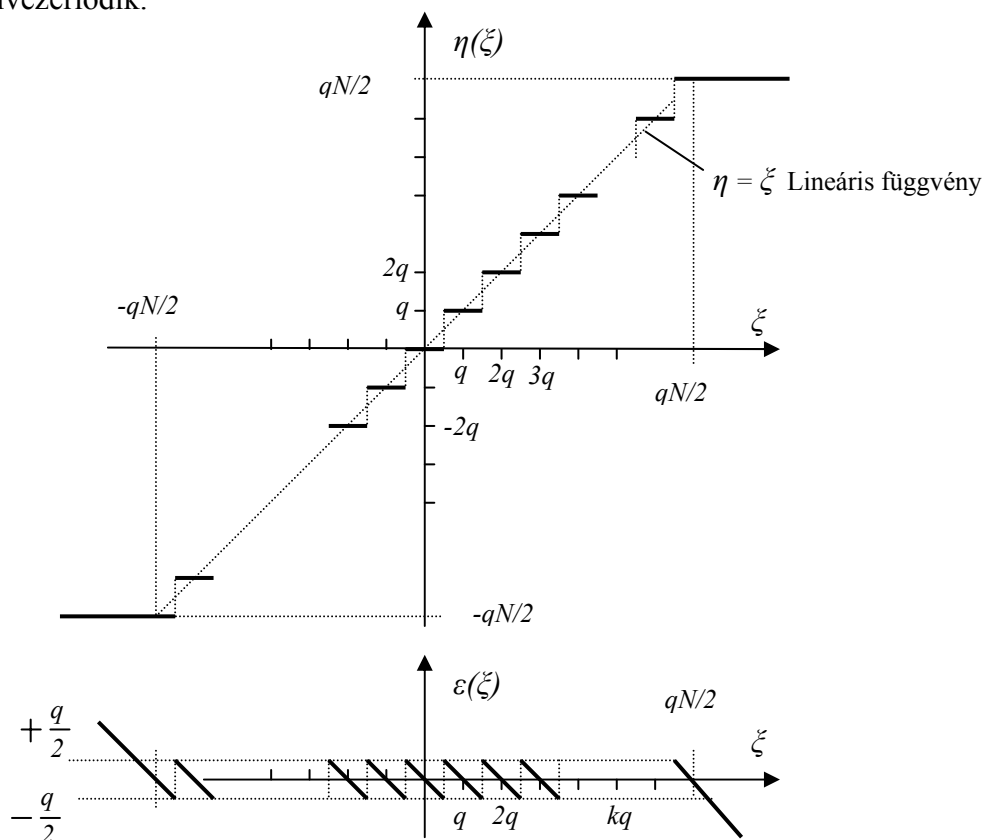
A kvantáló egyenletes, ha az ugyanazon kimeneti értéket szolgáltató bemeneti amplitúdó tartományok egyformák (értékük a  $q$  kvantálási lépcsővel egyezik meg).

Egy ilyen egyenletes kvantálót definiál az alábbi összefüggés:

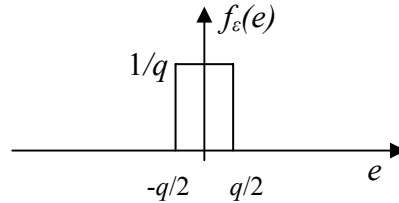
$$\eta(\xi) = \xi + \varepsilon(\xi) = m(\xi)q \quad \text{és} \quad -\frac{q}{2} \leq \varepsilon < \frac{q}{2} \quad (5.17.)$$

ahol  $m = m(\xi)$ : egész szám (a kimeneti kódja) és  
 $\varepsilon = \varepsilon(\xi)$ : a kvantálási hiba.

Az alábbi ábrán ezt a kapcsolatot rajzoltuk le, kiegészítve a *telítési szakaszokkal*, ahol a kvantáló már túlvezérlődik.



Ha a folytonos amplitúdó eloszlású, véletlen változó  $\xi$  bemeneti jel szórása nagyobb a  $q$  kvantálási lépcsőnél, akkor bizonyíthatóan az  $\varepsilon$  a kvantálási hiba eloszlása jó közelítéssel egyenletes lesz,  $f_\varepsilon(e) = 1/q$  (konstans) sűrűség függvényvel.

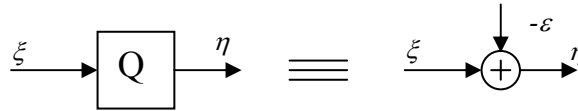


A fenti karakterisztika esetén a kvantálási hiba zérus várható értékű folyamat, melynek négyzetes várható értéke (átlag teljesítménye):

$$\mathbf{E}\{\varepsilon^2\} = \int_{-q/2}^{q/2} e^2 f_\varepsilon(e) de = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{q/2} e^2 de = \frac{q^2}{12} \quad (5.18.)$$

Túlvezérlés mentes esetben a véletlen változó jelek széles osztályára érvényes az a modell, hogy a kvantálási hiba és a kvantálandó jel *korrelálatlannak tekinthető*. Ha az egymás utáni minták kvantálásakor a hibák egymással is korrelálatlanok, akkor a kvantálási hiba *additív fehér zajjal közelíthető*, melynek spektrális teljesítménysűrűség függvénye állandó ( $= q^2/12$ ).

Más szavakkal ez azt jelenti, hogy a kvantáló mint nemlineáris fokozat helyettesíthető egy (lineáris) összegzővel (lásd 5.17.-et), melyben a jelhez egy zaj (a kvantálási zaj) adódik hozzá.



A zaj nagysága akkor kifejezőbb ha a jelhez viszonyítjuk (jel-zaj viszony: Signal to Noise Ratio SNR).

Példaként tekintsünk egy olyan bemenő jelet, amelynek amplitúdója egyenletes eloszlású a  $[-A, +A]$  intervallumban. Ennek sűrűség függvénye  $1/(2A)$ , az átlag teljesítménye (négyzetes várható értéke) pedig:

$$\mathbf{E}\{\xi^2\} = \int_{-A}^A x^2 f_\xi(x) dx = \frac{1}{2A} \int_{-A}^A x^2 dx = \frac{A^2}{3} \quad (5.19.)$$

Annak érdekében, hogy a túlvezérlést elkerüljük, teljesülnie kell az:  $Nq = 2A$  kapcsolatnak, amiből:

$$\frac{A}{q} = \frac{N}{2} \quad (5.20.)$$

Ezzel a jel-zaj viszony:

$$SNR = \frac{\mathbf{E}\{\xi^2\}}{\mathbf{E}\{\varepsilon^2\}} = \frac{A^2}{3} \frac{12}{q^2} = 4 \left( \frac{A}{q} \right)^2 = 4 \left( \frac{N}{2} \right)^2 = N^2 \quad (5.21.)$$

Ha a kvantált értéket  $b$  számú biten ábrázoljuk, akkor a lehetséges minták száma:  
 $N = 2^b$ . Ezt felhasználva:

$$SNR = 2^{2b} \quad (5.22.)$$

A jel-zaj viszonyt decibelben kifejezve:

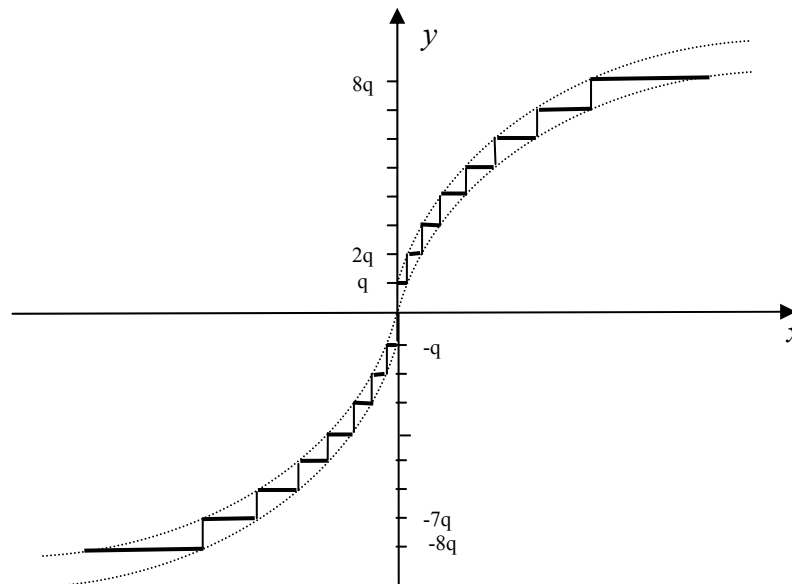
$$SNR^{[dB]} = 10 \lg SNR = 2b \lg 2 = 6.02b \quad [dB] \quad (5.23.)$$

Például 16 bites A-D konverterrel a maximálisan elérhető jel-zaj viszony 96 dB-re, 8 bitessel 48 dB-re adódik. A kvantálóra vezetett jel ha lecsökken, a kvantálási zaj attól még ugyanakkora marad, következésképpen a jel-zaj viszony ugyanolyan arányban romlik, ahogyan a jelünk csökken.

Ennek az effektusnak az elkerülése érdekében használnak a *telefóniában* u.n. logaritmikus kvantálót. A digitális telefonközpontok ugyanis a jeleket digitális formában kezelik (8 kHz-es mintavételi frekvenciával, 8 bites adatok: 64 kbit/sec adatfolyamok)

A használt A-D logaritmikus karakterisztikájú, melyben az egyes intervallumok *relatív nagysága* állandó. Ennek köszönhetően az elérhető jel-zaj viszony a jel széles tartományában állandónak tartható (kb 40 dB-en).

Az alábbi ábra egy 4 bites (16 kimeneti szintű) logaritmikus kvantálási karakterisztikát mutat:



### 5.5. A lézer lemez ( Compact Disc, CD ) működési elve

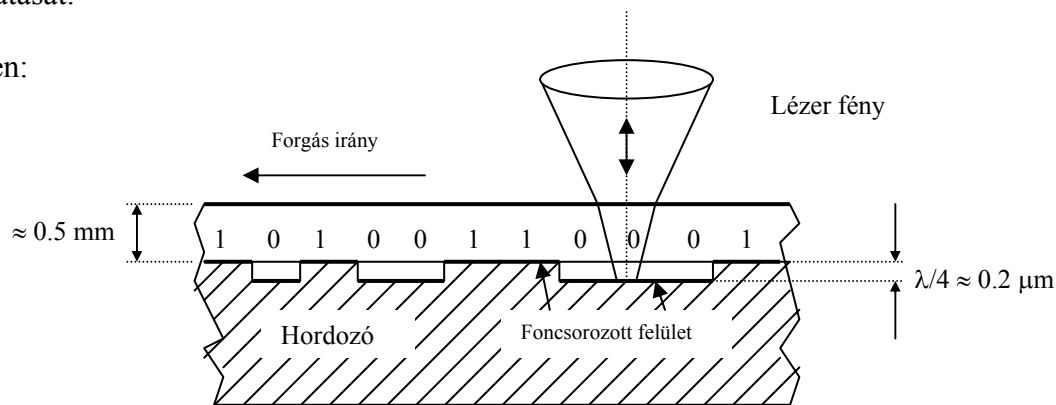
A lézer lemez annak köszönheti sikerét a ma már alig elérhető bakelit lemezekkel szemben, hogy a műsort digitális formában tárolja. Az analóg bakelit lemezeken az elérhető jel-zaj viszony kb 50 dB volt, míg a lézer lemezen a maximális jel-zaj viszony a 16 bites kódszavaknak köszönhetően 96 dB. A mintavételi frekvencia 44.1 kHz, ami a teljes hangfrekvenciás sáv [0-20kHz] rögzítését lehetővé teszi.

A lézer lemezen az információt egy tükröző felületben elhelyezkedő mélyedések hordozzák. A mélyedések egy spirál mentén helyezkednek el úgy, hogy a spirál menetemelkedése kb  $3\text{ }\mu\text{m}$ . (Ezzel kb 1 óra sztereó műsor rögzíthető.)

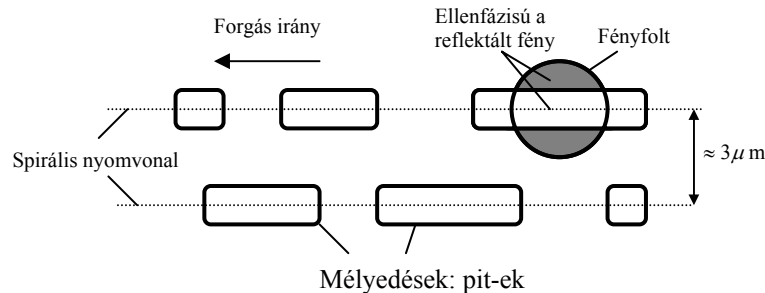
Az információ leolvasása lézer fényel történik. A fény úgy van fókuszálva, hogy a tükröző felületen a fényfolt átmérője kb  $2\text{ }\mu\text{m}$  legyen. A nyomvonal mentén elhelyezkedő mélyedések (piték) szélessége ennek kb a harmada. A fényfolt így fele részben a mélyedésre, fele részben azok szélére esik. A piték mélysége az alkalmazott fény hullámhosszának negyede (kb  $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ). A fonsorozott felületekről visszaverődő fényt egy fotodiódára vezetik, amelyik a rá eső fény intenzitásával arányos elektromos jelet szolgáltat.

Ha a fénysugár egy mélyedésre esik, akkor a mélyedés aljáról és a széléről visszaverődő fény által befutott út különbsége a hullámhossz fele lesz. A fél hullámhossz éppen ellenfázist képvisel, azaz ekkor a két fénnyaláb-rész kioltja egymást. Ha a fényfolt olyan nyomvonal szakaszra vetül ahol nincs mélyedés, akkor persze a két részsugár azonos fázisú és ezért erősíti egymás hatását.

Metszetben:



Felülnézetben:



A lemez fordulatszámát a lejátszó berendezés szabályozza oly módon, hogy a fényfolt kerületi sebessége állandó legyen. (Belülről kifelé haladva történik a lejátszás.)

A tükröző felület nem a lemez felületén, hanem a kb  $0.5\text{ mm}$ -es átlátszó védőréteg alatt helyezkedik el. A védőréteg törésmutatója a fókuszálási eljárásban szerepet kap oly módon, hogy a fényfolt átmérője a védőréteg külső felületén még sokkal nagyobb (néhány tized mm) mint a tükröző felületen (a fókuszban). A lemez külső felületének szennyeződése és a mechanikai sérülései (karcolódások) ezért sokkal kisebb mértékben zavarják a lejátszást.

Fontos technológiai részlet a fénysugár nyomvonalon tartása. Ezt úgy oldják meg, hogy a fő fényfolton kívül több u.n. segéd fényfolt is van, melyeket a nyomvonal széleire vetítenek. Az ezek által visszavert fénysugaraknak az egymáshoz viszonyított fényerő ingadozását használja a szabályozó (szervó) rendszer a nyomvonal tartás finom vezérlésére.



A két csatona digitális jelei sorosan egy kétszeres sebességű csatornába egyesítve kerülnek be. Ezt az eljárást nevezik időrés multiplexálásnak (TDM: Time Division Multiplex). A digitális jeleket egyenletes kvantálók szolgáltatják (lineáris 16 bites minták). A CD lemezek nem alkalmaznak hangjel tömörítési eljárásokat.

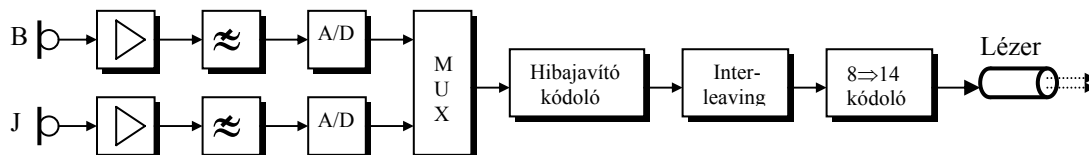
A felvételi eljárás során az egyesített jelet keretekbe szervezik, ami járulékos információ hozzáadását jelenti (keret szinkron szavak). A redundanciát tovább növeli az alkalmazott Reed-Solomon hibajavító kódolási eljárás. A lejátszó készülékben a dekódoló ha nem javítható számú hibát észlel, akkor képes a kimaradó mintákat a hiba környezetének mintáiból interpolálással pótolni.

A lemez mechanikai sérülései "hiba csomókat" okoznak, ami azt jelenti, hogy leolvasáskor az egymás utáni jelek mindegyike hibás lesz és ezért az interpolálás nem lehet sikeres. A hiba csomók kialakulását úgy kerülhetjük el, hogy a lemezre a jeleket nem természetes sorrendjükben írjuk fel, hanem valamilyen más sorrend alapján. Lejátszáskor természetesen visszaállítjuk az eredeti sorrendet. Ezzel az *adatszórás* (interleaving) technikával a hiba csomók szétszóródnak, a hibák javíthatók vagy interpolációval pótolhatók lesznek.

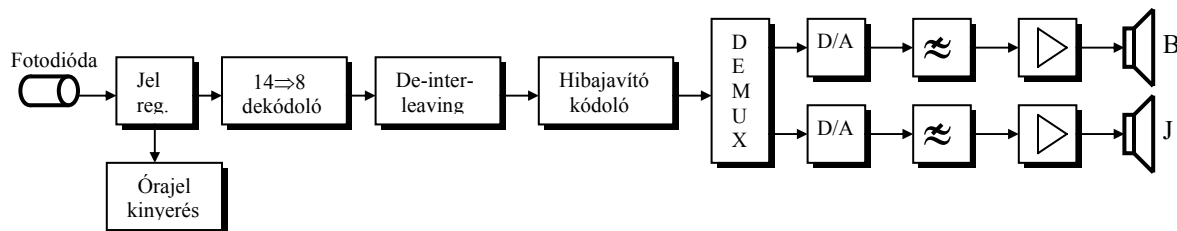
Az adatok szétszórását leggyakrabban úgy végzik, hogy az adatkeret (blokk) bitjeit egy mátrixba írják sorfolytonosan. A mátrix feltöltése után a kiolvasás oszlopok szerint történik. A lejátszásnál természetesen az írás oszlopok, az olvasás sorok szerint történik.

A CD lemezeken a lemez írása előtt még egy kódolási eljárást hajtanak végre, annak érdekében, hogy elkerüljék az olyan bitsorozatot, amelyekben hosszabb egyforma bitérték állna elő. A 8 bit-re csoportosított üzenet szavakhoz olyan 14 bites kódokat választanak, melyekben a 0-ák és az 1-ek váltakozása kiegyensúlyozott.

A felvételi csatona:



A lejátszó csatona:



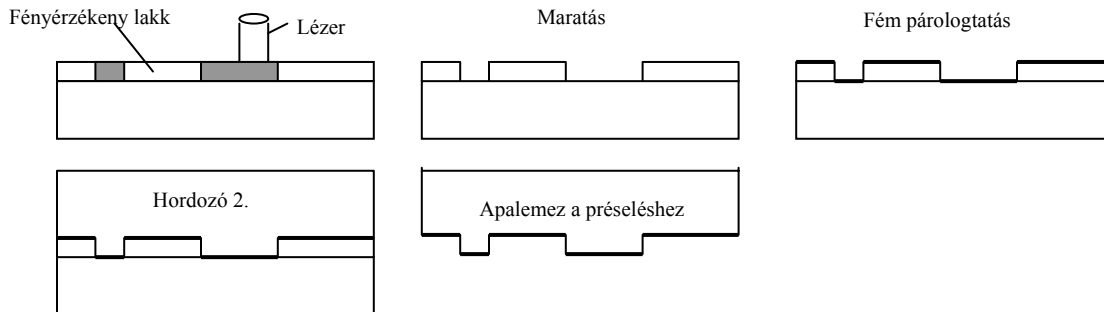
A CD lemez előállításának főbb technológiai lépései:

A hordozó korongra fényérzékeny lakkot visznek fel egyenletes rétegben. Felvételkor a egy lézer a rögzíteni kívánt jelsorozatnak megfelelően világítja meg a nyomvonal mentén a lakk felületét. A fény olyan kémiai változást okoz a lakkban, hogy az írási eljárás befejeztével a

megvilágított részek eltávolíthatók lesznek, kialakítva ezzel a piteket. Ezt a felületet vákuumos párologtatással vékony fém réteggel vonják be. Az így előkészített felületre elektrolízissal egy vastag fém réteget növesztenek, amely réteget leemelve a mintázat negatívját tartalmazó u.n. apalemezt kapják.

Ezzel az apalemezzel történik a műanyag lemezek préselése (sokszorosítása). A préselés után vákuum-párologtatással viszik fel a tükröző alumínium réteget, majd e fölé védő bevonatot képeznek ki.

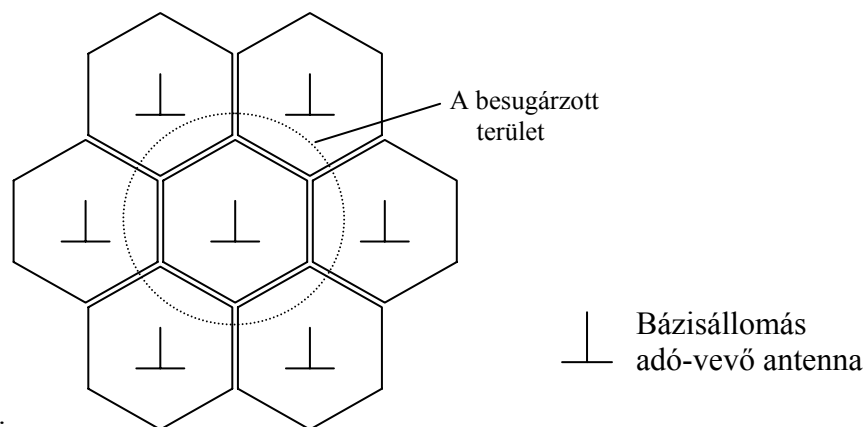
Nagyobb darabszám esetén az apa lemezről anya-, majd erről több fiú lemez készül, melyekkel a préselést végzik. (véges darabszám préselése lehetséges csak egy nyomólemezről).



### 5.6. A mobil rádiótelefon működési elve

(GSM: Global System for Mobile communication)

A földrajzi terület lefedése cellás elven:



A rádiócsatorna jellemzői:

*Frekvencia nyalábolás:*

A rendszer frekvencia osztásos elven (FDM)  $2 \times 124$  frekvenciát használ.

124 frekvencia: központi antenna  $\rightarrow$  mobil telefon irányban (Down Link)

124 frekvencia: mobil telefon  $\rightarrow$  központi antenna irányban (Up Link)

Ezt a készletet három szolgáltató között kell elosztani.

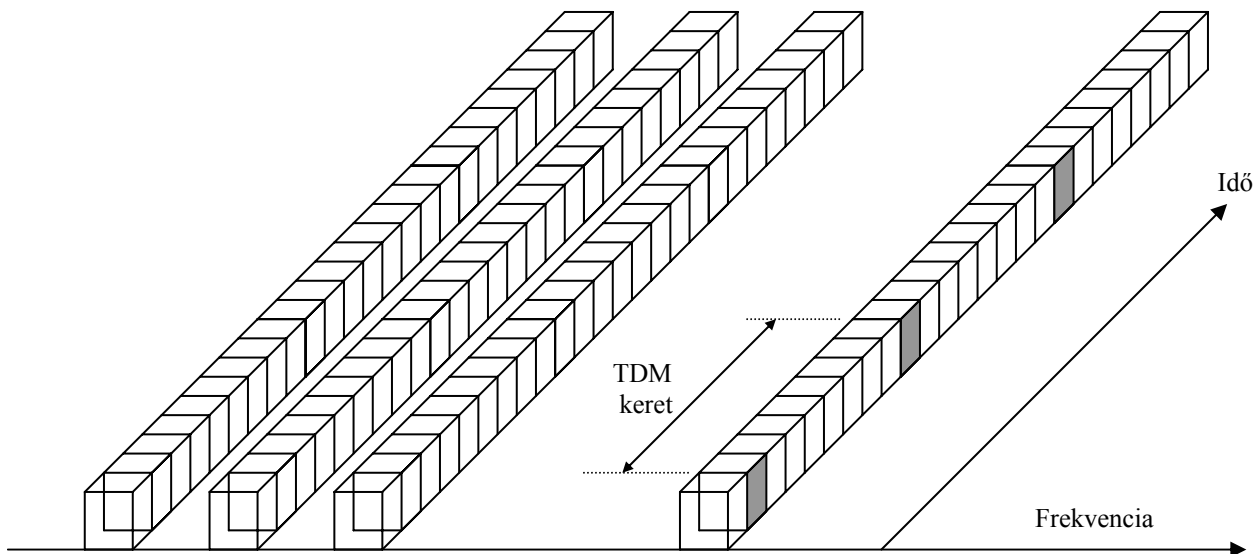
A zavarás miatt a szomszédos cellák nem használhatják ugyanazon frekvenciákat azonos időben.

*A moduláció:*

A rádiócsatornában az átvitel digitális. A moduláció FSK: frekvencia billentyűzés. Az átvendő bit értékétől függően a pillanatnyi frekvencia  $f_c + \Delta f$  vagy  $f_c - \Delta f$ , ahol  $f_c$  a 124 vivőfrekvencia egyike. A modulált jel sávszélességének csökkentése érdekében a frekvencia váltás nem pillanatszerű frekvencia ugrás, hanem folytonos átmenetű (Gauss-eloszlás görbéje szerint). Ez szimbólumközi áthallást okoz, amit a vevőben a demodulálás után meg kell szüntetni.

*Idő szerinti multiplexálás:* (TDM=Time Division Multiplex)

Az egy frekvenciához tartozó adatfolyam 8 felhasználói csatorna adatait képes időosztással átvinni. Egy csatorna a rendelkezésre álló időnek csak 1/8 részét használja el, a maradék időben a többi felhasználói és a szervíz csatornák kerülnek elhelyezésre.



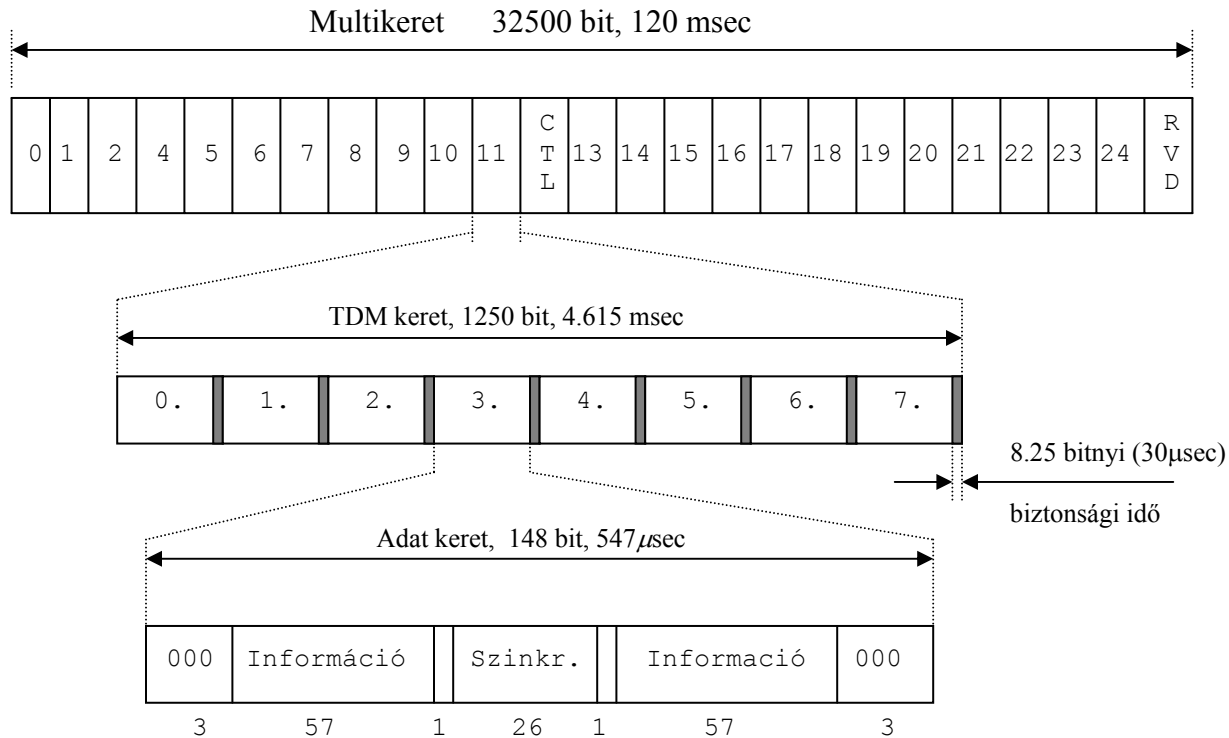
1.	2.	3.	.....	124.		
890.2	890.4	890.6	.....	914.8	MHz	Mobil → BTS : Up Link
935.2	935.4	935.6	.....	959.8	MHz	BTS → Mobil : Down Link

*Lassú frekvencia ugratás:* (Frequency hopping)

A rádióhullámok az adóantennától több úton keresztül, a tereptárgyakról többszörösen visszaverődve jutnak el a vevőantennáig. A *többutas terjedés* miatt a különböző úthosszúságokhoz különböző jel-késleltetések tartoznak, ezért a vevőantennában a hullámok interferenciájával alakul ki az eredő jel. Az interferencia eredményeként a különböző hullámok hol kioltják, hol erősítik egymást (*Fading*). A mobil vevővel néhány centimétert elmozdulva jel maximumból könnyen jel minimumba kerülhetünk (mivel a hullámhossz a 30 cm környékére esik). Ugyanakkor igaz, hogy ha az egyik frekvencián jel kioltás lép fel egy adott helyen, akkor egy megfelelően választott másik frekvencián ez nem következik be.

Ezért az rendszerben lévő összes rádió 120 millisecundumonként (multikeret idő) vivő frekvenciát vált úgy, hogy a frekvencia kiosztás fentebb említett szempontjait figyelembe veszik. Ha a fading miatt egy keret adatai elvesznek, a rendszer azt helyre tudja állítani.

Az egy vivőfrekvenciához tartozó adatfolyam szerkezete:



Az egy felhasználói csatornára jutó adatsebesség:

$$v = \frac{24}{120 \text{ msec}} * 2 * 57 = 22.8 \text{ kbit/sec}$$

Az átvitt információ lehet beszéd- ill. adatjel.

A beszéd kódoló: 20 msec-onként 260 bit => 13 kbit/sec

Adatátvitel 9.6 kbit/sec

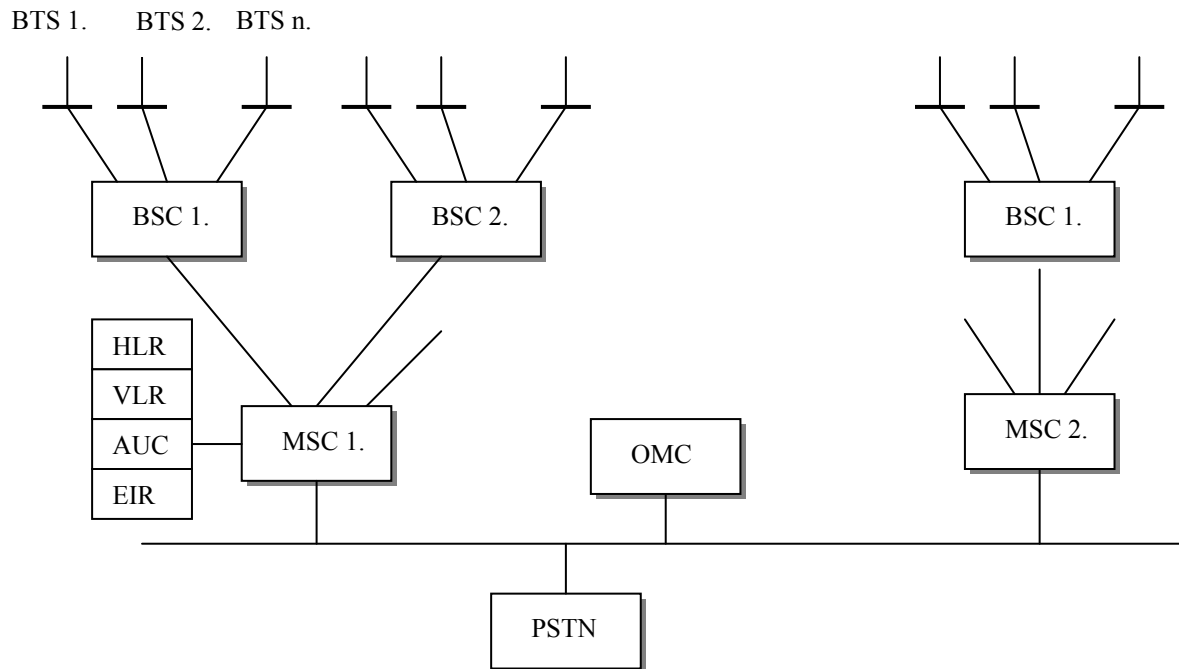
Hibajavító kódolással (redundancia hozzáadásával) lesz 22.8 kbit/sec.

*Szinkron* jelsorozat:

Ismert készletből választott kód. Szinkronizálást és csatorna alapsávi kiegyenlítésére használják.

A mobil a TDM miatt csak az idő 1/8-ad részében használja a csatornát. Az adás és vételi irányú időrés egymáshoz képest el van tolva.

A fennmaradó idő egy részben a mobil készülék méri a szomszédos bázisállomások térerejét, amiből észreveszi, hogy egy másik cella bázisállomása már kedvezőbb (nagyobb térerejű) és a szervíz csatornában kezdeményezi, hogy a kapcsolattartást a nagyobb térerejű bázisállomás vegye át.

**A GSM rendszer:**

**BTS:** Bázisállomás (Base Transceiver Station) a rádió interfészen keresztül közvetlen kapcsolatban van a mobil állomásokkal. A BTS:

- elvégzi a csatorna kódolást és dekódolást,
- megvalósítja az interleaving és de-interleaving funkciókat,
- elvégzi a titkosítást és a titkosított jel visszaalakítását,
- fenntartja a szinkronizációt,
- vezérli a logikai csatornák időzítését,
- egyesíti a rádiófrekvenciás jeleket,
- továbbítja a mobil készülékek mérési adatait a BSC felé

**BSC:** Bázisállomás vezérlő (Base Station Controller ) távvezérli a hozzá tartozó bázisállomásokat, és ezáltal vezérli:

- a forgalmi és jelzésátviteli csatornák lefoglalását,
- a forgalmi csatornák minőségét és térerősségét,
- az előfizetők megtalálását,
- a frekvencia ugratást (frekvencia hopping)

**MSC:** Kapcsoló központ (Mobile Switching Centre) (Egy szolgáltatónak több MSC-je is van.) Fő feladatuk a mobil állomások összekapcsolása és adatok tárolása adatbázisokban.

Ezek:

- **HLR:** Honos előfizetői regiszter (Home Location Register) (Minden előfizetőnek.)
  - o az előfizető pillanatnyi helyére (tartózkodási cella) és
  - o a számára nyújtható szolgáltatásokra vonatkozó információkat, valamint
  - o a mobil állomás azonosító számait tartalmazza.
- **VLR:** Látogatói előfizetői regiszter (Visiting Location Register)

- az MSC szolgáltatási területén tartózkodó (idegen) állomások adatainak tárolása,
- helyének a HLR-nél pontosabb ismerete,
- a hívásadás vezérlése.
- **AUC:** Jogosultság ellenőrző központ (Authentication Centre)
  - az előfizetők azonosítására szolgáló adatok tárolása
  - titkosítási kulcsok kiosztása és a válaszok ellenőrzése.
- **EIR:** Készülék azonosító regiszter (Equipment Identity Register)
  - A mobil készülék adatait tartalmazza.

**OMC:** Üzemeltetési és fenntartási központ (Operational and Maintenance Centre)

**PMST:** Nyilvános vezetékes telefon hálózat (Public Switching Telephone Network)

**SIM kártya:** Előfizetői készülék-azonosító modul (Subscriber Identity Modul) a mobil készülékben elhelyezett intelligens kártya, adatok tárolására.(kicserélhető, mert nem a készüléket, hanem az előfizetőt azonosítja).

- tárolja az előfizető adatait,
- a számára elérhető szolgáltatásokat,
- a telefonszámok listáját,
- a preferált szolgáltatók listáját,
- a titkosításhoz használt kulcsokat

*A beszéd tömritő eljárás:*

Alapelv: A hangutat egy időfüggő paraméterű szűrővel modellezzük, melyet zöngétlen beszéd-szegmensek esetén fehér zajjal, zöngés beszéd-szegmensek esetén pedig egy olyan pulzus sorozattal gerjesztenek, melynek frekvenciája a zöngés hangok periodicitására jellemző ún. *pitch* frekvencia. A pulzusok amplitúdóját és pozícióját az eredeti beszéd és a szintetizált beszéd közötti különbség alapján határozzák meg.

A beszéd 20 msec időintervallumban stacionáriusnak tekinthető. Erre az időre nézve továbbítani kell:

- a szűrő specifikációját
- a zöngés-zöngétlen flag-et,
- a gerjesztő jel paramétereit (pitch frekv, hangerő, stb).

Ezek az adatok sokkal kevesebb információ mennyiséget jelentenek (20 msec-ként 260 bit = 13 kbit/sec), mintha a beszéd mintákat vinnénk át (8 kHz-es mintavétel, 8 bit = 64 kbit/sec).

*Az átvitel titkosítása:*

A mobil által kezdeményezett hívásnál a hívásigény eljut a hitelesítő helyregiszterbe (HLR) és a hitelesítési központba (AUC). Innen egy (akkor sorsolt) 128 bites véletlen számot küldenek az MSC-BSC-BTS útvonalon a mobilnak, melyet egy algoritmus és a mobil saját kódja alapján transzformál. Ezt a transzformációt a központ is elvégzi. A mobil a transzformált kódot visszaküldi és ha ez megegyezik a központ által kiszámítottal, akkor jöhet létre a kapcsolat.

A transzformált kóddal mindkét fél titkosítva küldi az adatait, amit a túlsó oldal dekódolni tud. A titkosítás nagyon egyszerű: a transzformált kód bitjeivel (periódikusan) XOR-olják az üzenetet.

A vételi oldalon ugyanezt teszik, melynek hatására visszaáll az eredeti üzenet.