

## MOBIL HÍRKÖZLÉSI RENDSZEREK II.

### A RÁDIÓS INTERFÉSZ

#### A rádiós átviteli út problémái

Az információvédelem szempontjából a GSM-rendszer legsérülékenyebb szakasza a rádiós átviteli út. A mobil összeköttetések részfeladata a beszéd-, adat- vagy jelzésinformáció továbbítása elektromágneses hullámok segítségével. A rádiós átviteli út durva közelítésben három fő egységre bontható: adóra, vevőre és átviteli közegre. Az adási oldalon alkalmazott kódolási és modulációs eljárások feladata az átviteli közeg okozta jelcsökkentő és jelmegváltoztató hatások kompenzálása.

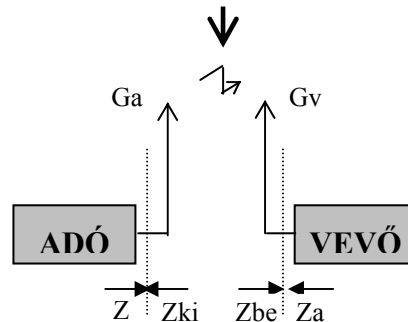
A jeleket a rádiós csatornán történő továbbítás során különféle káros hatások, károsodások érik:

- az áramköri zajok és az adó- ill. a vevőoldali áramköri torzítások, intermodulációk;
- a rádiós csatorna hullámterjedési tulajdonságai miatt fellépő jelingadozási jelenségek (fading);
- a vevőantenna helyén a hasznos jellel együtt a vevőbe jutó atmoszferikus és ipari eredetű (man-made) zajok;
- valamint a különféle rádiószolgáltatások adóiból a hasznos rádiófrekvenciás jellel együtt a vevőbe jutó, nemkívánatos jelek képviselte interferenciális és intermodulációs zavarok.

A jelek továbbításakor a felsorolt káros hatások minél kisebb szinten tartása érdekében a továbbítandó információ típusának valamint a zavar jellegének megfelelően a jelek amplitúdó-, frekvencia- és fáziseloszlását kell figyelembe venni.

Az adóegység végfokozata meghatározott kimenő impedanciával rendelkezik, amelyet az alkalmazott antennának a lehető legjobb teljesítményátadást eredményező módon kell lezárni. Mivel a vevőegység bemenő fokozata szintén adott bemenő impedanciával rendelkezik, a vételi antennát minimális teljesítményreflexiót biztosító impedanciával érdemes lezárni. Az adóegységet tehát úgy kell méretezni, hogy a jelet minél jobb hatásfokkal sugározza az antennát körülvevő térbe. A vevőoldali antennának pedig a vétel helyén fellépő elektromágneses energiát minél jobb hatásfokkal kell villamos nagyfrekvenciás teljesítménnyé alakítania (1. ábra).

*Időben változó hullámterjedési közeg (szabad tér, stb.)*



1. ábra. Időben változó hullámterjedési közeg

Az adó- és vevőantenna között található hullámterjedési közeg (szabad tér) egy négypólussal modellezhető. A hullámterjedés közegét — a rádiótelefon-technika szempontjából fontos URH-frekvenciasávok esetében — túlnyomóan a troposzférikus rétegek képezik. A troposzférikus rétegek felső határa kb. 12 km.

A hullámterjedésnél meg kell különböztetni mindenekelőtt az alkalmazott frekvenciától függetlenül a felületi és a térhullámokat, megjegyezve, hogy ezek egymáshoz viszonyított aránya függ a távolságtól, a frekvenciától, a terjedési közegtől és ezek villamos tulajdonságaitól.

A felületi hullámokat azok a sugárzások képezik, amelyek közvetlenül a föld felületén terjednek, és amelyeknek a viselkedését a hullámterjedés szempontjából lényegében a Föld legfelső rétegeinek a villamos tulajdonságai szabják meg. A térhullámokhoz azok a sugárzások tartoznak, amelyek a legkülönbözőbb szögek alatt az atmoszférába behatolnak, és amelyek viselkedése az atmoszféra villamos-tulajdonságaitól, villamos-szerkezetétől függ.

A térhullámok így valamilyen, a vízszintessel pozitív szöget bezáró, emelkedő kilövési szög alatt távoznak az adóantennából. A Föld felületétől távolodva a Föld légkörének ionizált rétegeibe ütközve visszaverődnek vagy elhajlást szenvednek, majd a Föld felületére visszajutva rádiós átvitelt valósíthatunk meg segítségükkel. Ha a hullám az adóantenna és a vevőantenna közötti egyenes mentén terjed, akkor direkt — közvetlen — hullámról beszélhetünk. Ez lényegében a térhullám egyik speciális esete. Direkthullám tisztán önmagában ritkán lép fel, inkább csak valamilyen reflektált vagy esetleg a térből visszahajló térhullám kíséretében.

Mind a direkthullám, mind a térhullám időbeli ingadozásokat mutathat. A direkthullám, valamint a térhullám időbeli ingadozása a légkör időben változó csillapítási tulajdonságaival van összefüggésben. Az ilyen változások nem túl gyorsak. A frekvenciától, távolságtól és egyéb tényezőktől is függően perc illetve óra nagyságrendűek. Az ilyen jelenségek tehát térerősség-ingadozást eredményeznek.

A felületi hullám — tekintve, hogy ennek terjedése a Föld fizikai, villamos tulajdonságaival van összefüggésben — viszonylag stabil, az időben gyakorlatilag állandó. Az eddigiekben említett rádióhullám-típusok közül valamely vételi ponton több is jelen lehet, ez interferencia-zavarokat okoz.

Az elmondottak következtében a rádiótelefon-technika szempontjából fontos a közvetlen hullámok valamint a visszavert hullámok továbbá ezek eredőjeként előálló hullámok figyelembevétele.

### ***A path loss és fading***

A *path loss* kifejezés kapcsolatvesztésnek fordítható, és abban az esetben történhet meg, amikor a vétel helyén a hasznos jel szintje egyre kisebbé válik. A csökkenés nagysága arányos a mobilkészülék és a bázisállomás közötti távolsággal.

Ebben az esetben nincsenek fizikai akadályok a sugárzó ( $T_x$ ) és a vevő- ( $R_x$ ) antenna között. Tehát szabad terjedés esetén azt mondhatjuk, hogy egy adott antennában a vételi jel teljesítményének a nagysága fordítottan arányos az adó- és vevőantenna közötti távolság ( $d$ ) négyzetével. A vételi teljesítmény szintén fordítottan arányos az adási frekvencia ( $f$ ) négyzetével. Ezek az arányosságok egy távolságfüggő teljesítményvesztésért ( $L_s$ ) eredményeznek:

$$L_s = d^2 f^2$$
$$L_s (dB) = 33,4(dB) + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km})$$

ahol: a 33,4 dB egy arányossági állandó.

Ez az egyszerű összefüggés csak a földi mobilrádiós rendszerekre érvényes a bázisállomáshoz közel. A nem ideális földsíknak köszönhető az a jobb megközelítés, hogy a közepes jelerősség csökken a távolság mínusz negyedik hatványával ( $d^{-4}$ ) arányosan.

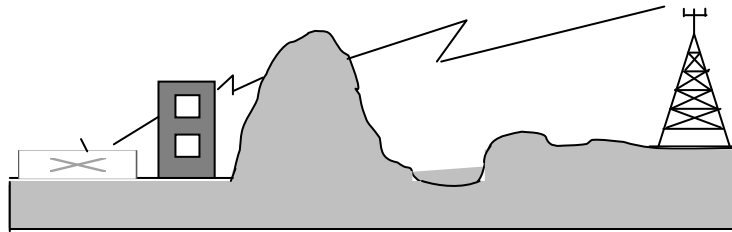
A valóságban a fent említett *path loss* sohasem fordulhat elő, mert mielőtt a teljesítménycsökkenés kapcsolatvesztéshez vezetne, minden esetben egy új átviteli utat kell létrehozni egy másik bázisállomáson keresztül. Valójában sohasem használjuk készülékünket akadálymentes környezetben. A troposzférikus rétegek villamos tulajdonságai szabják meg a hullámterjedési viszonyokat. A troposzférikus rétegek fizikai tulajdonságai az időben nem állandóak, hanem változnak a különféle időjárási, légköri jelenségeknek megfelelően. Ebből következik, hogy a légkör villamos jellemzői is, ezzel együtt pedig a hullámterjedés csillapítási, elhajlási, hullámtörési, szóródási, visszaverődési viszonyai is változnak az időben. Az előzőekből következően a vétel helyén a térerősség az időben változik. Ezt az időbeli változást *fading*-nek nevezzük. A *fading* legfontosabb típusai az interferencia *fading*, a csillapítási *fading* és a polarizációs *fading*. A vétel helyén a térerősség-változás statisztikai jellemzőit térerősség-eloszlásokkal lehet megadni. A tiszta interferencia *fading* **Rayleigh**, a csillapítási *fading* **log-normál** eloszlású.

Általánosabb az a szituáció, amikor természeti akadályok (pl. hegyek) és mesterséges építmények (pl. épületek) akadályozzák a készülék és a bázisállomás közötti rádióforgalmat. Ezekből az árnyékolási problémákból valamint a jelterjedési idők különbözőségéből adódnak a GSM-beli fading jelenségek, amelyek két fő csoportba oszthatók:

- Rayleigh fading;
- Log-normal fading.

### *Log-normál fading*

A log-normál fading-et más néven takarásos fading-nek hívják. Ezt a jelenséget a mesterséges és természetes fizikai akadályok okozzák (2. ábra). Mozgás közben a mobilkészülék és a bázisállomás közötti akadályok állandóan befolyásolják a terjedés minőségét, így a vett jel teljesítményét is. Ez a hatás különösen sűrűn lakott vagy hegyvidéki területeken okoz problémát. A log-normál fading hatásainak csökkentésére adaptív teljesítményszabályozást alkalmaznak. A bázisállomás<sup>1</sup> vagy a mobilállomás<sup>2</sup> adási teljesítményét változtatják attól függően, hogy milyen a jel erőssége. A változtatás nagyságát jelerősség-mérési eredmények adják.



2. ábra. Takarásos vagy log-normál fading

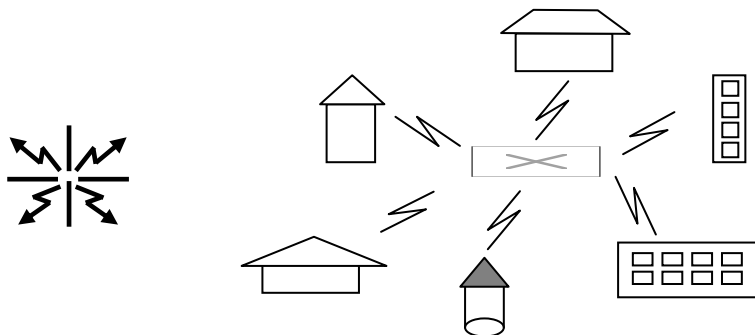
### *Rayleigh fading*

A Rayleigh fading-et a több utas terjedés okozza. Ez azt jelenti, hogy a vevőantennába érkező jel az eredetileg elküldött jelek vektorösszege. A kisugárzott jel ugyanis a terjedés során több tárgyról, épületről verődik vissza, így a megtett út hosszától függően különböző fázishelyzettel és amplitúdóval érkeznek a vevőhöz. Különösen jellemző ez a probléma a nagyvárosi területeken, ahol sok épület és építmény található, melyek reflektáló felületként viselkednek (3. ábra).

A nagyvárosi környezetben sokszor nincs egyenes út a rádióhullámok terjedésére, így olyan bázisállomások is elérhetők, amelyekre nincs rálátás, és a vétel sok esetben teljesen a visszaverődésekre támaszkodhat.

<sup>1</sup> Base Transceiver Station (BTS) — bázisállomás.

<sup>2</sup> Mobile Station (MS) — mobilállomás.



3. ábra. Többutas terjedés okozta fading

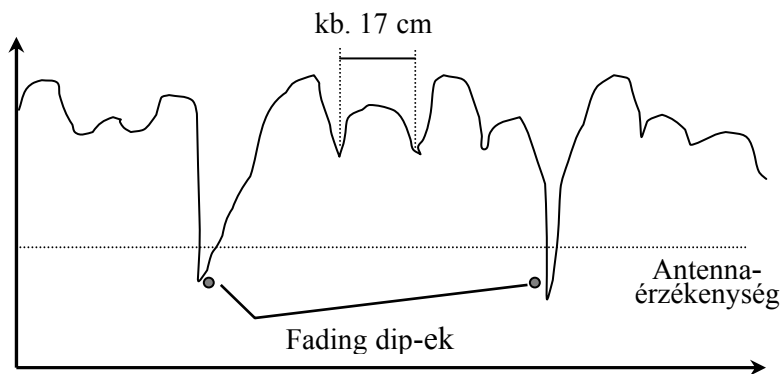
A visszaverődési különbségek alapján két fading-csoport alakítható ki:

- szelektív fading;
- flat fading.

Noha ezeknek a problémáknak az okai alapvetően ugyanazok, a hatások határozottan különbözőek és különböző megoldást is kívánnak.

### *Flat fading*

A flat fading-et a közeli tárgyakról visszaverődött jelek vektorális összege okozza. A vektorok összeadásánál — kedvezőtlen esetben —, amikor ellentétes fázisú, közel azonos nagyságú jelek összegződnek, un. fading dip-ek (völgyek) alakulhatnak ki (4. ábra). Ilyenkor a jel nagysága a vevő érzékenysége alá süllyed, és információvesztés fordulhat elő.



4. ábra. A fading dipek előfordulása

A fading dip-ek előfordulása között eltelt idő függ a mobilkészülék mozgási sebességétől és az adási frekvenciától. Jó közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a két fading dip közötti távolság körülbelül egy fél hullámhossz. Mivel a GSM a 900

MHz-es sávban dolgozik, ez a távolság itt 17 cm-nek felel meg (4. ábra). Tehát, ha a mobilállomás 50 km/h sebességgel mozog, akkor a két kioltás közötti időt a következőképpen lehet kiszámolni:

$$v = 14 \frac{m}{s}; \lambda \approx 0,3 m \Rightarrow \frac{\lambda}{2v} = 10,7 ms$$

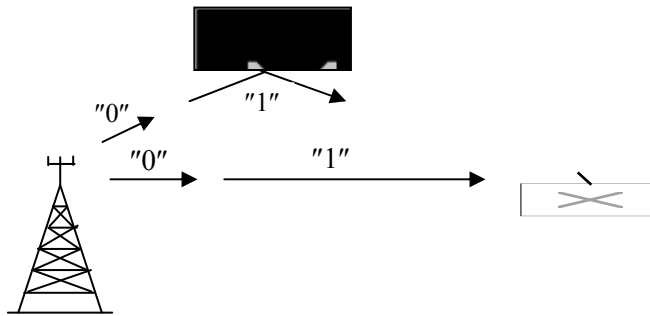
ahol:  $v$  — mobilállomás sebessége;

$\lambda$  — a jel hullámhossza.

A jel szintje pillanatról pillanatra változik, de jó közelítéssel egy középértékkel lehet jellemezni. A fading dip-ek szintje jóval kisebb a középértéknél. A vevőantenna érzékenységét a lehetőségekhez képest úgy kell meghatározni, hogy néhány decibellel a fading dip-ek szintje alatt legyen.

### Szelektív fading

A szelektív fading-nek vagy más néven idődiszperzióknak szintén a visszaverődés az oka, de ellentétben a flat fading-gel, a visszavert jel egy, a vevőantennától távoli tárgyról verődik vissza (ez a távolság több kilométer is lehet).



5. ábra. A szelektív fading

Az idő-diszperzió okozza az ún. ISI<sup>3</sup> jelenséget. Az ISI azt jelenti, hogy az egymást követő bitek a távoli tárgyról való visszaverődés következtében interferálnak más bitekkel, ami nehézséget okoz annak eldöntésében, hogy mi volt az eredeti bit értéke.

Vegyünk egy példát a 5. ábrának megfelelően. A bázisállomás sorrendben „1” és „0” jeleket küld ki. Ha a reflektált jel pontosan egy bit-idővel később érkezik az egyes úton terjedőnél, akkor a vevő „1”-et fog érzékelni a visszavert hullámból ugyanabban az időben, amikor az egyes hullámból „0” jön. Az „1” megzavarja a „0” jelet.

Mivel a bitsebesség a GSM-ben 270 Kbit/s, a két bit között eltelt idő 3,7  $\mu$ s. Ez az idő a jelterjedés szempontjából 1,1 km-nek felel meg. Tehát, ha a jel egy, a mobilállomás mögött 1 km távolságban levő tárgyról verődik vissza, 2 km-rel több utat

<sup>3</sup> ISI — Inter Symbol Interference.

tesz meg, mint az egyenes úton közlekedő. Ez azt jelenti, hogy a visszavert jel összekeveredik a két bitidővel később jövő, egyenes úton terjedővel.

Az idődiszperzió problémája igen sok fejtörést okozott a szakembereknek. A megoldást a következő fejezetben próbáljuk feltárni.

### ***A csatornakódolás és interleaving elve***

A digitális átvitel során az átvitel minőségét jól jellemzi a bit-hibaaarány<sup>4</sup>. A bit-hibaaarány érték egy bináris jelfolyam meghatározott időtartama alatt előforduló téves biteknek az összes bitre vonatkoztatott aránya. Arra kell törekedni, hogy ezt az értéket olyan kicsire csökkentsük, amilyen kicsire csak tudjuk. Az átviteli út (levegő) állandóan változik, emiatt a bit-hibaaarány sem állandó. Teljesen hibamentes átvitel csak ideális esetben létezik, ezért a cél a bit-hibaaarány egy még számunkra elfogadható érték alatt tartása. Az ismert hibaaarány mellett előforduló hibákat helyre kell állítani, vagy legalább detektálni kell ahhoz, hogy ne kezeljük őket úgy, mintha helyes értékek lennének. Ez különösen fontos adatátvitelnél, beszédátvitel esetében magasabb bit-hibaaarány is elfogadható.

### **A csatornakódolás**

Az átviteli minőség javítására és a terjedési hatások kompenzálására a GSM-ben csatornakódolást használnak. A csatornakódolás segítségével megvalósítható a vételi jelfolyamban a hibák detektálása és kijavítása. Ennek a tulajdonságnak az ára az, hogy több információt kell átvinnünk a vonalon. A csatornakódolás során olyan redundáns biteket keverünk bele a jelfolyamba, amiket megfelelő algoritmusok segítségével magából a jelfolyamból számítunk ki. A dekódolás során ezeket a redundáns biteket használják fel a hibajelenségek detektálására és kijavítására. A hibafelderítés úgy történik, hogy az átküldött redundáns biteket összehasonlítjuk a vételi jelsorozatból kiszámolt értékekkel.

Nézzünk egy egyszerű példát:

Egy csatornán „1” és „0” jeleket akarunk kiküldeni. A hibavédelem okáért minden bithez további három bitet teszünk hozzá.

<b>információ</b>	<b>többlet információ</b>	<b>elküldött információ</b>
0	000	0000
1	111	1111

Minden adóoldali bithez (0, 1) egy helyes vevőoldali kombináció tartozik (0000, 1111). Ha más értéket detektálunk, mint 0000 vagy 1111, akkor az átvitel során hibák keletkeztek. A redundáns bitek lehetővé teszik a hibák kezelését:

---

<sup>4</sup> Bit Error Rate (BER) — Bit-hibaaarány.

<b>Vételi kombinációk:</b>	0000	0010	0110	0111	1111
<b>Vételi információk:</b>	0	0	X	1	1

Ha a vételi kombináció egy bitben tér el a két lehetséges értéktől (pl. 0000 helyett 0001-et veszünk), akkor meg tudjuk határozni az eredeti értéket. Ha két bit hibás (pl. 1001 vagy 0110 stb.), csak azt tudjuk, hogy az átvitel során hiba keletkezett, de a helyes értéket nem tudjuk megmondani. Három vagy négy hibás bitnél sem detektálni, sem kijavítani nem tudjuk a hibás biteket. Ezért erre a kódolóra azt mondhatjuk, hogy 2 bites hibafelderítő és 1 bites hibajavító kódoló.

A hibajavító kódokat két nagy csoportra oszthatjuk: a blokk-kódokra és a konvolúciós kódokra.

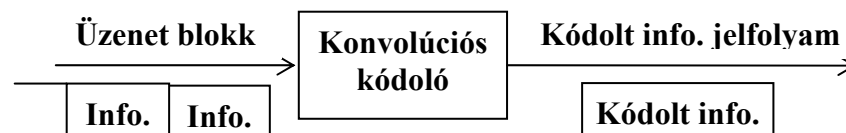
A blokk-kódolás (6. ábra) lehetővé teszi a hiba detektálását. Minden információs blokk végére paritás vagy ellenőrző összegző biteket helyezünk el. A redundáns bitek értéke a blokkban található információtól függ, így ha ez sérül az átvitel során, az ellenőrző bitek nem lesznek jellemzőek a blokkra.



6. ábra. A blokk-kódolás

A konvolúciós kódoló (7. ábra) eljárás lehetővé teszi a blokkokban felfedezett hibák kijavítását. Ennek az ára az, hogy az átvinni kívánt információ mennyisége jelentősen megnövekedik. Míg a blokk-kódolás során a blokk méretét kevés redundáns bittel növeljük, a konvolúciós kódoló minden egyes bithez hozzátesz egy járulékos bitet.

A kódolás során keletkező bitek nemcsak az aktuális értéktől függenek, hanem az azt megelőzőktől is.



7. ábra. A konvolúciós kódoló

A konvolúciós kód a forrásorozat konvolúciós eredményeinek az átviteléből áll. Az eredmények, a konvolúciós formula szerint késleltetett forrás sorozatok összeadásából keletkeznek.

Például egy kódoló kimenetén  $c = 2$  darab konvolúciós sorozat jelenik meg, tehát két konvolúciós formulát tartalmaz. Ezeket úgy kaphatjuk meg, hogy a megfelelően elléptetett bemeneti sorozatokon bitenként alkalmazzuk a kizáró vagy (?) műveletet:

- a  $c_1$  konvolúciós eredmény: a bemeneti sorozat, az egy bitidővel késleltetett bemeneti sorozat és a három bitidővel késleltetett bemeneti sorozatból származik;
- a  $c_2$  konvolúciós eredmény: a bemeneti sorozat, a két bitidővel késleltetett bemeneti sorozat és a három bitidővel késleltetett bemeneti sorozatból származik.

Az átviteli sebesség a kódolás után a duplája lesz az eredeti sebességnek. Az említett művelet leírható generátor polinomokkal:

$$c_1 = D^3 \oplus D \oplus 1; c_2 = D^3 \oplus D^2 \oplus 1$$

Két módosított változatot használnak a GSM-ben. Az elsőben a kimeneti sorozat véges  $p$  bitszámú blokkokból áll. A kódolás a fent leírtak szerint történik azzal a különbséggel, hogy a léptetések előtt néhány ismert bitet teszünk a blokk két végére, ezeket a biteket végződés<sup>5</sup> biteknek nevezzük. A másodikban a hatékonyság  $p/q$  arányban nő, amit úgy kapunk meg, hogy a kódon elvégezzük az ún. puncturing műveletet. A  $p$  bitmennyiségből csak  $q$ -t tartunk meg egy előre meghatározott szabály szerint.

1. táblázat

Bementi blokk	12 bit	100100110101
Tail bitek hozzáadása	18 bit	000100100110101000
Késleltetés 1 bitidővel		000100100110101000
Késleltetés 2 bitidővel		000100100110101000
Késleltetés 3 bitidővel		000100100110101000
1. konvolúciós sorozat	15 bit	11001000100100
2. konvolúciós sorozat	15 bit	10100101111011
Puncture 2. sorozat	8 bit	1 1 0 0 1 1 1 1
Átvitt blokk	23 bit	11101010000011001001

Például alkalmazzuk a második változatot  $b = 12$  bitre (1. táblázat). A 12 bit elejére és végére 3-3 nullás bitet illesztünk, és a két konvolúciós polinom szerinti műveleteket elvégezve ( $c_1 = D^3 \oplus D \oplus 1$ ;  $c_2 = D^3 \oplus D^2 \oplus 1$ ) 15-15 bitet kapunk (1. és 2. konvolúciós sorozat). Ahhoz, hogy a hatékonyságot megnöveljük, a 2. konvolúciós sorozatból csak minden második bitet vesszük figyelembe. A végső 23 bites blokk úgy épül fel, hogy az első konvolúciós sorozat bitjei kettősével közrefogják a második konvolúciós sorozatból származó 8 bitet.

A „perforálás”<sup>6</sup> kódolást adatátvitel esetén alkalmazzák, a beszéd és más információk kódolásakor mindkét konvolúciós sorozatot teljes egészében átviszik.

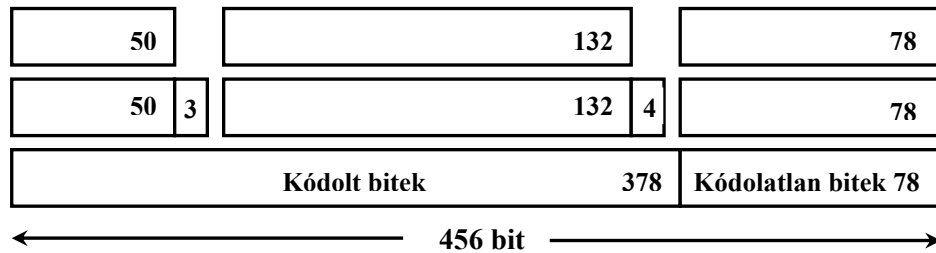
<sup>5</sup> tail — végződés.

<sup>6</sup> Puncturing — perforálás, átszűrés.

A GSM-ben a beszédkódolóból 20 ms-os 260 bitet tartalmazó minták érkeznek a csatorna kódoló bemenetére. A 260 bit három csoportra van osztva a fontosság szempontjából:

- 50 nagyon fontos bit (C1a);
- 132 fontos bit (C1b);
- 78 nem túl fontos bit (C2).

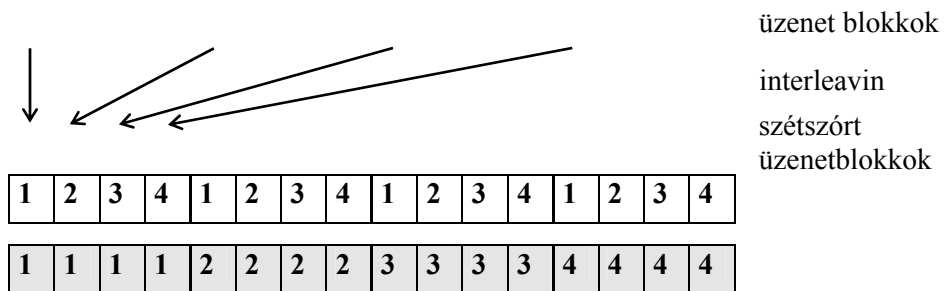
Az első 50 bites csoportot blokk-kódolásnak vetik alá, ezáltal kiegészül 3 paritásbittel. Majd az 53 bit a 132 fontos bittel együtt a konvolúciós kódolóba kerül, ahol megduplázódik a bitszám (378). A megmaradó 78 bit (C2) kódolatlan marad (8. ábra). A bejövő 260 bitből a csatornakódolás során 456 bit lesz, az átviteli sebesség ezáltal 22,8 kbit/s-ra nő.



8. ábra.

### A csatornaidőzítés elve

A csatornaidőzítés<sup>7</sup> művelet elvégzése úgy történik, hogy szétválasztjuk az egymás mellett levő szomszédos biteket, melyek egy üzenetblokkban helyezkednek el. Miért hasznos ez? Először, a rádiós átvitel során a bithibák nagyobb része csoportos hiba, tehát nem egyetlen bitet érint. Másodszer nyilvánvaló, hogy nehezebb a csoportos hibák kezelésére alkalmas kódolót alkotni. Jobb teljesítményt lehet elérni a véletlenszerűen előforduló hibák esetén. A csatornakódolás jobb hatásfokkal detektálja és javítja az egyszeres bithibákat, mint a hibacsomókat.



<sup>7</sup> interleaving — csatornaidőzítés.

### 9. ábra. A csatornaidőzítéses művelete

A csatornaidőzítés művelete (9. ábra) lényegében abból áll, hogy egy üzenetblokk bitjei bizonyos szabályok szerint átrendeződnek abból a célból, hogy az egymás után következő bitek összefüggése megszűnjön.

Ha egy ilyen „szétszórt” blokk az átvitel során „megsérül” vagy elveszik, a fenti példában csak az eredeti üzenetblokk 25%-a sérül meg (10. ábra). Úgy kell megválasztani a csatornaidőzítés formulát, hogy  $x$  százaléknyi információ elvesztése esetén a dekódoló még helyre tudja állítani az eredeti üzenetblokkot. Minél nagyobb a bitek szétszórása, annál valószínűbb a jobb átviteli minőség, viszont egy teljes üzenetblokk-átvitel sebessége csökken. E két tulajdonság egyensúlyban tartása érdekében többféle csatornaidőzítéses formulát szabványosították a GSM-ben attól függően, hogy a csatornát milyen célra használják.

1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4	1	X	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

10. ábra.

A csatornakódolás és csatornaidőzítés megvalósítását részletesen a Repüléstudományi Közlemények következő számában tárgyaljuk.

## A fizikai csatorna-felépítés struktúrája

A GSM-ben egy vivőfrekvencián (teljes sebességű átvitel esetén) 8 időosztásos csatorna (slot vagy időrés) helyezkedik el, mely tulajdonképpen 8 egyidejű beszélgetést jelent. A 8 időrésből álló egységet *TDMA*<sup>8</sup> keretnek nevezzük.

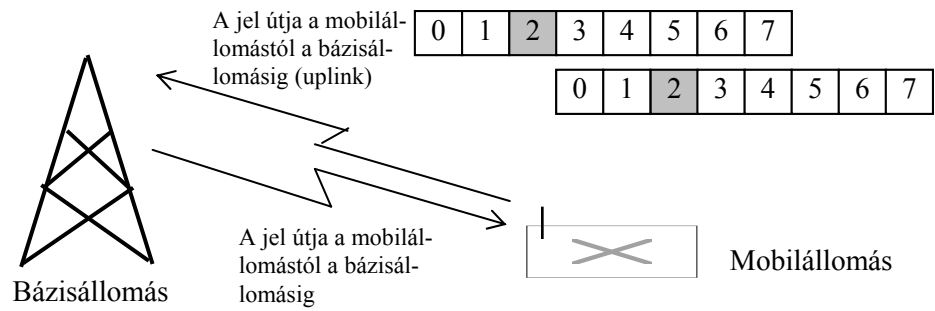
Az időrés tartalmazza — a Repüléstudományi Közlemények következő számának egyik fejezetében részletesen is ismertetésre kerülő — az ún. rövid impulzus sorozatot<sup>9</sup>, mely lényegében a GSM-ben az információ alapegységének tekinthető. A jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig<sup>10</sup> és a jel útja a bázisállomástól a mobilig<sup>11</sup> irányú átvitel a csatornák szempontjából kissé eltér egymástól, mivel a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig TDMA-keret 3 időréssel tér el a jel útja a bázisállomástól a mobilig kerethez viszonyítva (11. ábra).

<sup>8</sup> Time Division Multiple Access (TDMA) — idő szerinti többszörös hozzáférés

<sup>9</sup> burst — rövid impulzussorozat.

<sup>10</sup> uplink — a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig.

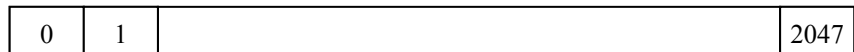
<sup>11</sup> downlink — a jel útja a bázisállomástól a mobilig.



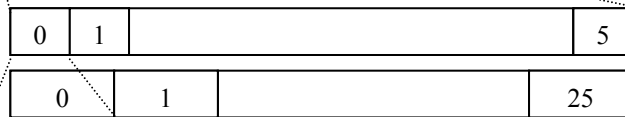
11. ábra. A jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig TDMA-keret 3 időréssel való eltérése a jel útja a bázisállomástól a mobilállomásighoz viszonyítva

A rádiós interfész keretstruktúráját a 12. ábrán láthatjuk.

1 hyperkeret = 2048 szuperkeret = 2 715 648 TDMA-keret (3 óra 28 perc 53 s 760 ms)



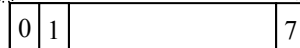
1 szuperkeret = 51 (26-os) multikeret = 26 (51-es) multikeret = 1326 TDMA-keret (6,12 s)



1 (26-os) multikeret = 26 TDMA-keret (120 ms) 1 (51-es) multikeret = 51 TDMA-keret (235,4 ms)



1 FDMA-keret (4,615.ms)



12. ábra. Keretszervezés a rádiós interfészen

A TDMA-keret hossza 4,615 ms. Az alapkeretből épül fel a *multikeret*, mely kétféle lehet. Az egyik 26 TDMA-keretből (hossza 120 ms), a másik 51 TDMA-keretből (235,4 ms) áll attól függően, hogy a keret beszéd- vagy jelzésinformációt tartalmaz.

A kétféle multikeretből két egyforma hosszúságú *szuperkeret* hozható létre. A szuperkeretek 1326 TDMA-keretet tartalmaznak. Ez azt jelenti, hogy a 26 TDMA-keretet tartalmazó multikeret 51-szer, az 51 TDMA-keretet tartalmazó multikeret pedig 26-szor ismétlődik a szuperkeretben. A szuperkeret ideje 6,12 s.

A *hyperkeret* a rádiós interfész legnagyobb információs egysége. Tartalma 2048 szuperkeret, mely pontosan 2 715 648 TDMA keretet jelent. A hyperkeret ismétlődési ideje 3 óra 28 perc 53 másodperc 760 ms.

## Logikai csatornák típusai és feladataik

Ebben a fejezetben az a célunk, hogy összefoglaló ismertetést adjunk a GSM-ben használt logikai csatornák osztályozásáról, típusairól valamint azok főbb funkcióiról.

A 10 féle csatornatípus többször is elő fog fordulni a cikk további részeiben, így célszerű azok nevét, funkcióit már most megtanulni. A csatornafunkciókat, az általuk hordozott információkat illetően most nem törekszünk a teljességre, mert azok teljes átlátásához, megértéséhez további ismeretekre van szükség.

A logikai csatorna nem olyan „kézzelfogható”, mint az előző fejezetben ismertetett fizikai csatorna, melynek időtartama, hossza meghatározható, időben elhelyezhető. A logikai csatornákat lényegében a bennük foglalt információ típusa szerint definiálhatjuk, a rádiós interfészen a titkosított beszéd vagy adat és a különböző jelzések információit tartalmazzák. Egy-egy logikai csatorna különböző fizikai csatornákon (időrésben) realizálódik, melynek módját a Repüléstudományi Közlemények következő számában ismertetjük.

A logikai csatornák két nagy kategóriába sorolhatók, ezek a következők:

- forgalmi csatornák;
- vezérlő vagy jelzescsatornák.

A logikai csatornákon történő információátvitel történhet pont–pont összeköttetésben vagy pont–több pont között. A második esetben közvetítő jellegű átvitelről<sup>12</sup> beszélünk. Az átvitel iránya a csatornafunkciótól függően lehet:

- a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig;
- a jel útja a bázisállomástól a mobilig;
- vagy kétirányú.

A továbbiakban ismertetjük az egyes logikai csatornák típusait és feladatait.

### *Forgalmi csatorna*<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Broadcast channel (BCH) — közvetítő csatorna.

<sup>13</sup> Traffic channel (TCH) — forgalmi csatorna.

Kódolt beszéd- vagy adatátvitel történik ezen a csatornán. Amikor a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig és a jel útja a bázisállomástól a mobilig irányban, pont–pont összeköttetésben.

A forgalmi csatorna több fajtáját is megkülönböztetjük a hasznos információ sebességétől függően. A beszédátvitelben tipikusan kétféle forgalmi csatornát lehet megkülönböztetni:

- teljes sebességű<sup>14</sup> 13 kbit/s-os átviteli sebességgel;
- félsebességű<sup>15</sup> 6,5 kbit/s-os átviteli sebességgel.

Az adatátvitel esetén többféle forgalmi csatornát használnak az adatátvitel sebességétől függően.

### ***Vezérlő- vagy jelzés csatornák***<sup>16</sup>

Jelzés illetve szinkronizációs bitek továbbítása történik ezeken a csatornákon. A vezérlőcsatornák három csoportba oszthatók:

- közvetítő (broadcast);
- közös (common);
- címzett (dedicated) csatornákra.

Ezek mindegyike további alosztályokra oszlik:

#### **Közvetítő csatornák**

A közvetítő csatornák a bázisállomás és a cellában tartózkodó mobilkészülékek közötti jelzésátvitelt szolgálják. Ahhoz, hogy egy készülék a bekapcsoláskor vagy roaming esetén a cellahatár átlépésénél azonosítani tudja az aktuális cellakörzetet, vagy hogy melyik állomással van rádiós összeköttetésben, számos adatot, információt kell a bázisállomásnak folyamatosan sugározni. Az összeköttetés tehát a jel útja a bázisállomástól a mobilig, és egy pont (bázisállomás) és több pont (mobilállomás) között valósul meg.

**FREKVENCIA-KORREKCIÓS CSATORNA**<sup>17</sup>: A csatorna olyan információt tartalmaz, amelynek segítségével a mobilállomás az aktuális bázisállomáshoz tartozó közvetítő vivőre (jelátvitel ellenőrző csatorna) tud hangolni. A frekvencia korrekciós csatorna lényegében egy modulálatlan szinusz-jel, melyre a mobilállomás bekapcsolása után vagy új cellába történő átlépéskor (roaming) ráhangol.

**SZINKRONIZÁCIÓS CSATORNA**<sup>18</sup>: Amikor a mobilállomás ráhangol a bázisállomás vivőjére, további információkra van szüksége ahhoz, hogy a rendszerhez kapcsolódjon, hívást fogadhasson vagy kezdeményezhessen. A mobilállomás a

---

<sup>14</sup> Traffic channel full-rate (TCH/F) — forgalmi csatorna teljes sebességű.

<sup>15</sup> Traffic channel half-rate (TCH/H) — forgalmi csatorna félsebességű.

<sup>16</sup> Control Channel (CCH) — vezérlő vagy jelzőcsatorna.

<sup>17</sup> Frequency Correction Channel (FCCH) — frekvencia korrekciós csatorna.

<sup>18</sup> Synchronization Channel (SCH) — szinkronizációs csatorna.

szinkronizációs csatornán detektálja az ún. TDMA keretszámot (TDMA-frame number), mely a titkosítási algoritmus egyik paramétere valamint az aktuális bázisállomás azonosítóját.

A JELÁTVITEL ELLENŐRZŐ CSATORNA<sup>19</sup>: A csatornán a bázisállomások olyan további általános információkat sugároznak a mobilállomások részére, melyek a rádiós átvitelhez szükségesek:

- cellában használt frekvenciák;
- frekvencia-ugrálás (frequency hopping) szekvenciája;
- csatorna-kombináció (hívás-felépítéshez szükséges);
- lapozó (paging) csoportok;
- környező cellák információi.

### Közös vezérlőcsatornák<sup>20</sup>

A közös vezérlőcsatornák pont–pont közötti összeköttetésben realizálódnak. Ez azt jelenti, hogy a csatornákat a mobilkészülékek közösen használják, azonban a jelzésinformáció csakis egy bizonyos mobilállomásra vonatkozik.

„KÖRÖZVÉNYES VAGY LAPOZÓ” CSATORNA<sup>21</sup>: A mobil keresésére, hívásértésítésére használt csatorna (page, search). Irány: a jel útja a bázisállomástól a mobilig.

VÉLETLEN HOZZÁFÉRÉSŰ CSATORNA<sup>22</sup>: Ha egy mobil előfizető hívást szeretne kezdeményezni, vagy egy hívó csatornán jövő hívásértésítésre (page response) válaszolni, a központot a véletlen hozzáférésű csatornán keresztül érheti el. Irány: a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig.

„HOZZÁFÉRÉST FELKÍNÁLÓ” CSATORNA<sup>23</sup>: Egy hívásfelépítéshez számos jelzészváltás történik a mobilállomás és a bázisállomás ill. a központ között. Ahhoz, hogy ne kelljen közös (common) csatornát lefoglalni ezen információk átvitelére, a mobilállomásnak egy ideiglenes jelzészcsatornát oszt ki a központ (ez lesz az egyedi hozzáférésű csatorna). A hozzáférést felkínáló csatorna feladata pontosan ennek a csatornának a kijelölése. Irány: a jel útja a bázisállomástól a mobilig.

### Címzett jelzészcsatornák<sup>24</sup>

A dedikált (vagy egy mobil részére fenntartott) jelzészcsatornák a hívás felépítéséhez, a folyamatos beszéd és adatátvitel biztosításához (pl. handover esetén) szükséges jelzések átvitelét biztosítják. Ez azt jelenti, hogy az összeköttetések kétirányúak (a jel útja a mobilállomástól a bázisállomásig és a jel útja a bázisál-

---

<sup>19</sup> Broadcast Control Channel (BCCH) — jelátvitel ellenőrző csatorna.

<sup>20</sup> Common Control Channels (CCCH) — közös ellenőrző csatorna.

<sup>21</sup> Paging Channel (PCH) — lapozó csatorna.

<sup>22</sup> Random Access Channel (RACH) — véletlen hozzáférésű csatorna.

<sup>23</sup> Access Grant Channel (AGCH) — hozzáférést felkínáló csatorna.

<sup>24</sup> Dedicated Control Channels (DCCH) — címzett ellenőrző csatorna.

lomástól a mobilig) valamint pont-pont közöttiek. Három típusát különböztetjük meg:

- „EGYEDI HOZZÁFÉRÉSŰ” JELZÉSCSATORNA<sup>25</sup>: A hívás felépítéséhez szükséges jelzések (pl. jogosultsági vizsgálat, forgalmi csatorna kijelölése) továbbítására a hozzáférést felkínáló csatorna minden érdekelt mobil részére kijelöl egy egyedi hozzáférésű jelzescsatornát. Egy cellában összesen 8 egyedi hozzáférésű jelzescsatorna található. Amikor a jelzészváltás befejeződött és egy forgalmi csatornát a vezérlő lefoglalt a kommunikáció (beszéd vagy adat) céljára, a mobilkészülék „elhagyja” az egyedi hozzáférésű jelzescsatornát, és a következő pillanatban ugyanazt az egyedi hozzáférésű jelzescsatornát már egy másik mobilállomás használhatja ugyanerre a célra.
- „LASSÚ KAPCSOLATÚ” JELZÉSCSATORNA<sup>26</sup>: A lassú kapcsolatú jelzescsatorna minden forgalmi csatornához és egyedi hozzáférésű jelzescsatornához kapcsolódik. Ezen a jelzescsatornán a mobilkészülék az általa mért – az aktuális (serving) ill. a szomszédos cellákra vonatkozó – jelerősség értékeket folyamatosan küldi a központ felé. A mérések alapján eldönthető, hogy szükség van-e a handover eljárás megindítására vagy sem. A mobilkészülék kimeneti teljesítményének valamint a cellán belül mozgó mobilállomás korrekt időzítésének (time alignment) szabályozásához, beállításához szükséges információk is az egyedi hozzáférésű jelzescsatornán érkeznek.
- „GYORS KAPCSOLATÚ” JELZÉSCSATORNA<sup>27</sup>: A lassú kapcsolatú jelzescsatorna funkcióhoz külön fizikai csatorna rendelhető, a gyors kapcsolatú jelzescsatorna azonban csak indokolt esetben (pl. sürgős handovernél) jelenik meg. A gyors kapcsolatú jelzescsatorna lényegében a forgalmi csatornán realizálódik abban az esetben, ha ezt a forgalmi csatorna két bitje jelzi. Ilyenkor a forgalmi csatornán történő titkosított beszédbitek helyett jelzések átvitele történik. A folyamat olyan gyors (max. 20 ms), hogy a beszéd minőségét ez nem zavarja.

### **Beszédkódolás**

A 13. ábra mutatja a GSM rendszerű adó blokkvázlatát. A beszéd-átalakítás több lépcsőben történik meg. Az átalakítások egy része a hibavédelmet, egy másik része pedig az információvédelmet szolgálja.

A beszéd digitalizálása 8 kHz-es mintavételi frekvenciával történik. A PSTN rendszerekben alkalmazott impulzuskód moduláció<sup>28</sup> beszédkódoló eljárásban minden mintát 8 bit reprezentál 8 kHz-es mintavételi frekvencia mellett. Ez vég-

---

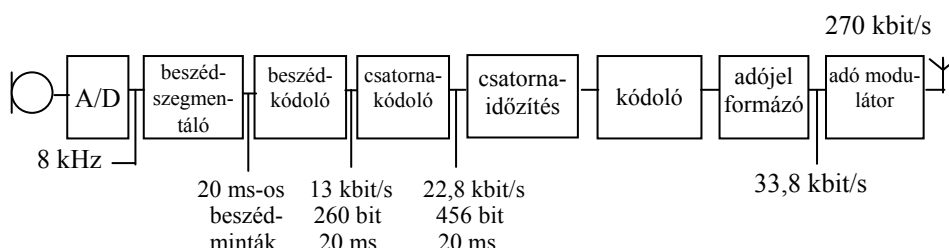
<sup>25</sup> Stand-alone Dedicated Control Channel (SDCCH) — egyedi hozzáférésű jelzescsatorna.

<sup>26</sup> Slow Associated Control Channel (SACCH) — lassú kapcsolatú jelzescsatorna.

<sup>27</sup> Fast Associated Control Channel (FACCH) — gyors kapcsolatú jelzescsatorna.

<sup>28</sup> Pulse Code Modulation (PCM) — impulzuskód moduláció

eredményben egy csatornára 64 kbit/s-os sebességet eredményez. A GSM-ben ez a sebesség túl magas lenne a fennálló sávszélesség-korlátok miatt. Ezért a beszédkódolás egy alternatív formáját használják.



13. ábra. A mobilkészülék adóegysége

Az alkalmazott hibrid kódoló a különböző digitális rendszerekben alkalmazott hullámforma kódoló és vokóder (forráskódoló) keveréke.

### Hullámforma-kódoló

A *hullámforma-kódolás* a beszéd, mint véletlen hullámforma lehetőleg hű átvitelét, az eredeti jel reprodukálását igyekszik megvalósítani. Ezek lényegében bonyolult analóg-digitális vagy adaptív analóg-digitális átalakítók. A hullámforma-kódolók készítésénél kihasználják a beszédre vonatkozó statisztikai ismereteket. E kóderek figyelembe veszik a beszéd amplitúdó-eloszlását, spektrális tulajdonságait, spektrális sűrűségeloszlását és a beszéd autokorrelációját. Ebbe a csoportba tartozik a impulzuskód moduláció kódoló is.

### Forráskódoló

A *vokóderek* nem közvetlenül a beszéd hullámformáját kódolják át, hanem az emberi beszédkeltésre vonatkozó ismeretekből származó elveket, törvényszerűségeket, paramétereket igyekeznek kihasználni, megvalósítani. Ez az adóoldalon valós idejű analízist, a vevőoldalon valós idejű szintézist igényel. Az ilyen rendszerek az adóoldalon elvégzett analízis vagy predikció alapján a hullámformát meghatározó beszédparamétereket (pl. magánhangzók jellemzői, zöngés és zöngétlen mássalhangzók adatai, a zöngés hang alaphangfrekvenciája) továbbítják. A vevőoldalon pedig a paramétereket beszédszintetizátor vezérlésére használják.

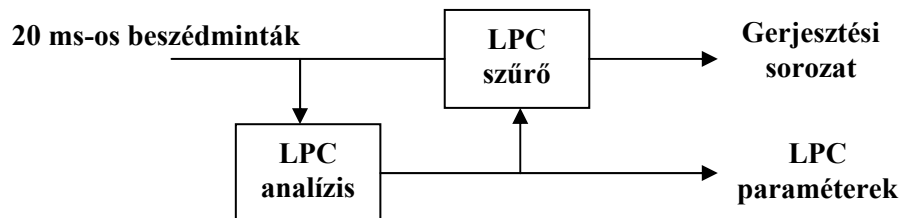
A megvalósítás úgy történik, hogy az emberi beszédszerveket próbálják leutánozni. A beszédszervek felfoghatók úgy, mint egy szűrőhálózat, amelyet valamilyen impulzusok gerjesztenek. Az impulzusok a rezgő hangszálaktól származnak, a szűrő pedig a szájból, fogakból és a nyelvből épül fel. Természetesen a szűrőparaméterek és a gerjesztő impulzusok folyamatosan változnak, de

a beszédszervek lassúságának köszönhetően kb. 10–30 ms ideig állandónak vehetjük őket. A megvalósítás során készítünk egy szűrőparaméter listát aszerint, hogy milyennek néz ki a szűrő a 20 ms-os vizsgálati idő alatt, valamint tároljuk a gerjesztő jelsorozatot is. A szűrőparaméterek a gerjesztő impulzusokkal együtt leírják a 20 ms idejű beszédet. Az átvitel során ezeket a paramétereket továbbítjuk. A vokóderek hátránya, hogy az így kódolt beszéd élethűsége nem túl jó, viszont a bitsebesség igen alacsony lehet ( $n \cdot \text{kbit/s}$ ).

### Hibrid kódoló

A GSM-ben a lineáris előrejelző kódolást<sup>29</sup>, hosszúidejű előrejelző<sup>30</sup> és szabályos gerjesztő impulzus<sup>31</sup> kódolási eljárást alkalmazzák. Az itt alkalmazott *hibrid* kódoló ötvözi az előbbi eljárások jó tulajdonságait. A beszédátviteli minőség a hullámforma kódolóéval egyező a vokóder átviteli sebessége mellett.

A lineáris előrejelző kódolás a jel előző mintavétele során megállapított jellemzői alapján előre becsüli a jel következő viselkedését, jellemzőit, amelyek átvitelre kerülnek.



14. ábra. A lineáris előrejelző kódolási eljárás

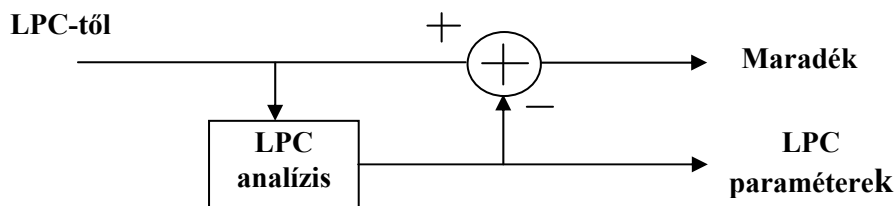
A 20 ms-os beszédmintákat egy inverz szűrőn vezetik át, a lineáris előrejelző kódolás szűrő paraméterei is függenek a mintától. A szűrő impulzusválasza és a szűrőparaméterek kerülnek továbbításra.

A hosszúidejű előrejelző a beszéd egymást követő mintái nagyon hasonlóak. Ezt a hasonlóságot használják ki a hosszúidejű előrejelző szűrőben, amelyben kivonják a megelőző lineáris előrejelző kódolás gerjesztési sorozatot az aktuálisból. A maradék és a hosszúidejű előrejelző paraméterek kerülnek továbbításra.

<sup>29</sup> Linear Predictive Coding (LPC) — lineáris előrejelző kódolás.

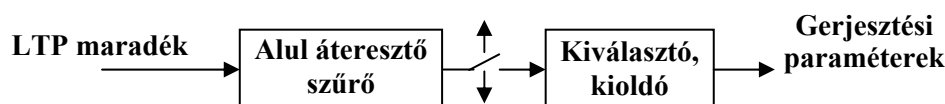
<sup>30</sup> Long Term Prediction (LTP) — hosszúidejű előrejelző.

<sup>31</sup> Regular Pulse Excitation (RPE) — szabályos gerjesztő impulzus.



15. ábra. A hosszúidejű előrejelző kódolási eljárás

Az RPE az LTP-ben képződött maradék szűrés és mintavételezés után egy hullámforma kódolóba jut, amelyben minden harmadik mintát kódolják és küldik el.



16. ábra. A szabályos gerjesztő impulzus kódolási eljárás

Az LPC+LTP művelet után a jelsebesség 3,6 kbit/s, ehhez hozzájön még az RPE kódolás 9,4 kbit/s-os sebessége, így végeredményben a beszédkódoló kimenetén 13 kbit/s a jelsebesség. A 20 ms-os, kódolt, 13 kbit/s sebességű beszédminták 260 bitet tartalmaznak.

### Az adatátvitel jellemzői

A GSM rendszer esetén az volt a cél, hogy lehetőség szerint korlátozzák a különböző átviteli módok számát. A korlátozáshoz szükséges vizsgálatok iránya az átviteli minőség és a késleltetési tényező felé mutatott, és az eredmény a két tényező kompromisszumaként alakult ki. Az információátvitel mobil vonalakon nem olyan egyszerű, mint vezetékes hálózat esetén. Ezekon a vonalakon a 10-3-os bithiba-arány nem szokatlan jelenség. A beszédatvitel folyamán ez nem okoz semmilyen problémát, de az adatszolgáltatásoknál megengedhetetlen a vonal ilyen méretű romlása. Ahhoz, hogy mégis bevezethető legyen ez a szolgáltatás, hibajavító protokollok alkalmazására van szükség mind a két végpont között, mind pedig az átviteli út különböző részein. Az eddig létező protokollokat a vezetékes hálózat számára tervezték, s így sokkal „elnézőbbek”, mint amire a rádióösszeköttetés folyamán szükség lenne. Azon kívül ezek a hibajavító eljárások nem minden adatszolgáltatásnál használhatók. A fenti tényekből adódó hiány szükségessé tette egy, a GSM átviteli láncon belüli hibajavító eljárás létrehozását.

Az információátvitel szabályai szerint adott az átviteli sebesség, a hibák forrása valamint az átviteli karakterisztika, akkor a hibajavítás kompromisszum az adatbocsátás volumene, az átviteli késleltetés és a megmaradó bithiba-arány tekintetében. A GSM-rendszer esetében nincs olyan létező egyetlen kompromisszumos megoldás, amelyik az összes adatátviteli szolgáltatásnál használható

lenne. Néhány esetben elfogadott a kisebb késleltetésből adódó magasabb bithiba-arány, míg más alkalmazásoknál — mint pl. a fax — hosszú késleltetésre van szükség a megfelelő átviteli minőség eléréshez. Éppen ezért a GSM-ben többféle típusú összeköttetés is elfogadott.

Az eltérő típusok között alapvető különbség van. Az egyik eljárásban, amit a GSM-specifikációkban „T” kapcsolatnak vagy más néven transzparens átvitelnek neveznek, a rádióinterfész átviteli rendszerén alapuló vevőoldali hibajavítással történik a hibák korrekciója. A másik eljárás folyamán, amit a GSM-specifikációk „NT” vagy nem átlátszó kapcsolatként emlegetnek, ha a vevőoldal hibás átvitelt érzékel, az adóoldal megismétli az átvitelt.

A „T” átviteli módot az ISDN-specifikációkból (egész pontosan a V.110 ajánlásból) vette át a GSM-rendszer. Az átvitel folyamán a TAF és az IWF közötti szakasz szinkron átviteli útként viselkedik, az átviteli sebesség konstans valamint a késleltetés is rögzített. A két előfizető közötti információcsere folyamán 600 és 9600 kbit/s közötti sebességgel történhet a hasznos valamint a hibajavításhoz szükséges redundáns bitek átvitele. Mivel alacsonyabb átviteli sebesség esetén jobb minőségű átvitel érhető el vevőoldali hibajavítás esetén, ezért három különböző átviteli sebességet definiáltak.

Az alacsonyabb átviteli sebességek számára egy csoportot képeztek, amely a 2400 bit/s alatti és a 2400 bit/s-os sebességeket tartalmazza, és úgy kezeli, mintha mind 2400 bit/s-os lenne. A másik kettő illeszkedik a felhasználói 4800 bit/s-os és 9600 bit/s-os sebességekhez. A 4800 bit/s-os és kisebb sebességek nem feltétlenül igénylik a maximális (full-rate) csatornkapacitást, de a legmagasabb 9600 bit/s-os sebesség igen. Minél alacsonyabb az átviteli sebesség, annál jobb az átvitel minősége. A sebességgel arányos átviteli jellemzőket tartalmazza a 2. táblázat

A sebességarányos átviteli jellemzők

2. táblázat

Felhasználói átviteli sebesség	Közvetítő átviteli sebesség	Csatornatípus	Maradék bit-hibaarány
9600 bit/s	12 kbit/s	teljes sebességű	0,3%
4800 bit/s	6 kbit/s	teljes sebességű félsebességű	0,01% 0,3%
≤ 2400 bit/s	3,6 kbit/s	teljes sebességű félsebességű	0,001% 0,01%

A táblázat tartalmazza a jövőben megjelenő félsebességű csatorna alkalmazásának eseteit is. Ezekben az esetekben 9600 bit/s-nál és 4800 bit/s-nál az átvitel minősége már nem kielégítő. Ez indokolja egy másfajta hibajavító eljárás („NT”) kidolgozását.

Nem átlátszó esetben a GSM oldali kapcsolat csomagkapcsolt adatfolyamnak tekinti annak ellenére, hogy az ajánlott pont-pont közötti kapcsolat leggyakrabban hagyományos vonali szolgálat. Következésképpen, minél nagyobb a hibák valószínűsége, annál nagyobb a késleltetés is. Ebből adódóan csökken az átviteli kapacitás, viszont az átvitel minősége a fennmaradó hibákat tekintve sokkal kedvezőbb, mint transzparens üzemmódban. Egy-egy keret 240 bitből áll. A keret redundáns biteket is tartalmaz, hogy a vételi oldalon a fennmaradó hibás bitek detektálása megoldható legyen. Az eljárást, ami a vételi oldalon a hibaelenőrzést, és szükség esetén a hibás keretek ismételt elküldését végzi, Rádióösszeköttetés Protokollnak<sup>32</sup> nevezik. Nagy vonalakban a felhasználói adatfolyam (a kiegészítő információkkal együtt) 200 bites blokkokra van szabdalva, és az átviteli út másik oldalára redundáns bitekkel kiegészített 240 bites keretekben jut el. Minden keret számozott, így vételkor a redundáns biteknek köszönhetően ellenőrizhető az átvitel helyessége. Ha a vétel helyesnek bizonyul, a vevő visszaigazolást küld a keretszámok segítségével. Ha a vétel hibás, akkor negatív visszajelzés történik, és így az adóoldalnak lehetősége nyílik megismételni az adatküldést. Az RLP hasonló a jelzésűzenetek átvitelénél használt összeköttetés protokollokhoz.

Az RLP átviteli láncba való beiktatása egy új problémának a felmerülését vonzza maga után, mégpedig az átviteli sebességnek a problémáját. Ha például a 9600 bit/s-os előfizetői sebességet tekintjük, a kiegészítő bitek hozzáadása után (csakúgy, mint transzparens módban) az átvitelhez szükséges sebesség 12 000 bit/s lesz. A kérdés az, hogy honnan vegyük a hibaészleléshez, keretszámozáshoz, visszajelzésekhez, ismétlésekhez szükséges magasabb átviteli sebességet. A válasz az, hogy pont-pont közötti adatátvitel több eseténél a magasabb sebesség már létezik. Például a start/stop protokoll alkalmazása nem túlságosan hatékony. Minden nyolc bitből álló karakterhez a start és a stop bit jelzése miatt két további bit hozzáadása szükséges. Ez 20%-os sebességnövekedést jelenthet. Egy másik lehetőség alacsony szintű protokolloknál adódik, mint amilyen az X.25-ös elérés. Ezek a protokollok olyan funkciókat tartalmaznak, mint a keretszervezés, megismételt küldéses hibavédelem, amik az RLP protokollban is megvannak. Mindkét esetben (start/stop formátum, LAPB alkalmazás) az ötlet az, hogy helyettesítsük őket a GSM környezethez illő megfelelő tulajdonságokkal. Ennek a helyettesítésnek viszont az a következménye, hogy az RLP-protokoll csak bizonyos esetekben, bizonyos konfigurációkban alkalmazható, mégpedig olyanban, ahol a GSM-készülék képes felismerni az alacsonyabb rétegű protokoll használatát.

---

<sup>32</sup> Radio Link Protocol (RLP) — rádió kapcsolat.

Összegzésképpen, ha a vizsgálódásunkat a TAF és az IWF szegmensére korlátozzuk, a TAF, az IWF és a külső világ által létrehozott adatstruktúrákat elemezve megfigyelhető, hogy a rendszer négy különböző típusú átviteli kapcsolatot biztosít. Ha a félsebességű csatorna is bevezetésre kerül, akkor lehetővé válik további három adatkapcsolat, a 2400 bit/s-os, a 4800 bit/s-os és a 4800 bit/s-os kapcsolat RLP protokollal való alkalmazása is. Következésképpen a csatorna típusa egyáltalán nem közömbös szempont. Befolyással lehet az átviteli késleltetésre és a hibaarányokra is. Mivel sok szolgáltatáshoz kell ismernünk ezek karakterisztikáit, az adatátviteli összeköttetés létrehozásánál figyelembe kell venni a rádiócsatorna típusát. Vagyis a TAF-nak és az IWF-nek nemcsak ismernie, de szabályoznia is kell ezt a paramétert. A 3. táblázat a hét lehetséges eset összefoglalását tartalmazza illusztrálva a kompromisszumot a sebesség, az átviteli minőség, a késleltetés és a spektrumkihasználás között. A csatornatípus oszlopban a jelölések a következők:

- F — teljes sebességű;
- H — félsebességű;
- T — átlátszó;
- NT — nem átlátszó.

A GSM-ben lehetséges hétféle adat-összeköttetés

3. táblázat

Csatornatípus	Átviteli minőség	Késleltetési idő (TAF-IWF kétirányú)
TCH/F 9.6, T	alacsony	330 ms
TCH/F 9.6, NT	magas	> 330 ms
TCH/F 4.8 (T)	közepes	330 ms
TCH/F 2.4 (T)	közepes	200 ms
TCH/H 4.8, T	alacsony	600 ms
TCH/H 4.8, NT	magas	> 600 ms
TCH/H 2.4 (T)	közepes	600 ms

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Géher Károly: Híradástechnika. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1993.
- [2] Buzás Ottó: Telefon kultúra. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1995.