

Maros Dóra

GSM

Budapest, 2001

Tartalomjegyzék

1. Digitális mobil távközlo hálózatok	4
1.1. Elvárások, követelmények	4
1. 2. Szabványosított digitális mobil rendszerek	5
2. A GSM rendszer elemei	6
2.1. A GSM története, jelene, jövője.....	6
2.2. A hálózat geográfiai struktúrája	8
2.3. A GSM funkcionális felépítése, elemei	11
2.4. GSM azonosító számok.....	16
3. A rádiós szakasz.....	21
3.1 A frekvencia-kiosztás	21
3.2. A frekvenciák többszörös felhasználásának elve	22
3.3. Cellatípusok, cellaelrendezések	24
3.4. Az FDMA/TDMA technika megvalósítása.....	28
3.5. A rádiós átvitel jellemzői	29
3.5.1. A path loss	31
3.5.2. Fading jelenségek	31
a.) Flat fading.....	33
b.) Szelektív fading	35
3.5.3 A Viterbi-kiegénylítő és demodulátor.....	35
3.6. Logikai csatornák	37
3.7 A burst fogalma és típusai	40
3.8. Logikai csatornák leképzése fizikai csatornákra	42
3.9. Szuper és hiperkeret	45
3.10. Beszédátvitel.....	46
3.10.1 Az emberi beszéd jellemzői	47
3.10.2. Az emberi beszéd modellezése	48
3.10.3. Beszédkódolás a GSM-ben	49
3.10.4. A csatornakódolás és az interleaving elve	52
3.10.5. Az interleaving szintjei	56
3.10.6. A titkosítás és moduláció	58
4. A GSM védelmi rendszere.....	60
4.1. Autentikációs eljárás.....	60
4. 2. Titkosítás — biztonság a rádiós csatornán.....	63
4. 3. Készülékazonosítás	65
4. 4. A rejtett előfizetői azonosság	65
5. Forgalmi esetek	67
5. 7. A GSM-ben használt protokollok.....	67
5. 2. Bekapcsolás, kikapcsolás	68
5. 3. Roaming (bolyongás)	70
5. 4. Cellaválasztás	71

5. 5. A mobil előfizető helyének nyilvántartása és a location update.....	71
5. 6. A handover	77
5. 6. 1. Handover mérések	79
5. 6. 2. A mérési beszámoló (measurement report)	80
5. 6. 3. Szomszédos cella mérése	80
5. 6. 4 Handover döntési folyamat	82
5. 6. 5. A handover megvalósítása	82
5.7. Nem folyamatos átvitel (DTX).....	88
6. Új GSM technológiák	90
6.1 A Wireless Application Protocol	90
6.1.1. A WAP összetevői	91
6.1.2. A WAP architektúrája.....	92
6.2. GPRS, a csomagkapcsolt megoldás	92
6.2.1. A GPRS átviteltechnikája	93
6.2.2. WAP alkalmazások GPRS-el	95
6.2.3. A GPRS készülékek állapotai.....	96
6.2.4. A GPRS előnyei különböző alkalmazások esetén	96

1. Digitális mobil távközlő hálózatok

Az utóbbi években a mobil távközlés elterjedése a világban új távlatokat nyitott a személyi kommunikációban. A beszédátvitelen kívül ma már számos rendszer kínálja a fax és adatátviteli szolgáltatásokat is, amely a mobil rendszereket lényegében egyenrangú versenytárssá léptette elő a hagyományos vezetékes távközlési hálózatokkal folytatott versenyben.

A technika fejlődését e téren nap, mint nap tapasztalhatjuk, hiszen újabb és újabb készülékek jelennek meg piacon, a szolgáltatások minősége és sokrétusége rohamosan nő, készülékünk „használhatósága” szinte az egész világra kiterjed.

A még megmaradt analóg rendszerek mellett teret hódítottak a digitális hálózatok, amelyek ténylegesen több előfizető kiszolgálására alkalmasak az időosztásos technika bevezetésének köszönhetően. Ebben a könyvben a GSM rendszerrel ismerkedhet meg az olvasó, kibővítve a harmadik évezredben várhatóan bevezetésre kerülő új technológiák leírásával.

1.1. Elvárások, követelmények

A mobil hálózatok tervezésénél és megvalósításánál mindig elsődleges szempont az előfizetők igényeinek maximális kielégítése, hiszen a hálózatokat lényegében az előfizetők tartják fenn. A mobil hálózatok megjelenésének első időszakában az előfizető elsődleges vásárlási szempontja az volt, hogy bárhol is tartózkodik (pl. gépjárművével úton van) elérhető legyen, illetve ne legyen helyhez kötve, ha éppen ő akarna telefonálni. Ez akkoriban nagyon fontos szempont volt, így ezt kielégítendő elsősorban szállítmányozási vállalatok, örökké úton lévő üzletemberek voltak a potenciális előfizetők. Az árak csökkenésével egyre szélesebb skálát mutatott a rendszereket használók köre, és ilyenformán a szolgáltatások fejlesztése, bővítése, minőségének javítása került előtérbe. Aki manapság mobil telefont vesz és előfizetője lesz egy mobil hálózatnak jogosan várja el a következőket:

- Készüléke legyen könnyen használható és megbízható;
- A hálózatüzemeltető által jelzett területeken (legyen akár külföldön) készülékét tudja használni, azaz bármikor tudjon hívni és őt is bármikor el lehessen érni;
- A beszéd minősége folyamatosan jó legyen. még akkor is ha 120-a1 robog a sztrádán;
- Az éppen fennálló kapcsolata ne szakadjon meg számára indokolatlan módon. (Kivéve, ha lemerült az akkumulátor, vagy véletlenül leejti a készüléket és meghibásodik);
- Használni tudja a hálózatot adat- és faxátvitelre, SMS küldésre, stb. - Megkapja mindazokat az alap- és kiegészítő szolgáltatásokat melyeket a vezetékes telefonhálózat is biztosítani tud, legyen például a hívásátirányítás vagy bármi egyéb;
- Beszélgetését, faxát, számítógépes adatait senki se tudja lehallgatni, megfejtetni; - Készülékét csak ő tudja használni, ha ellopják azonnal le tudja tiltatni;
- Megkapja a szolgáltatótól mind azt amiért (nem is kevés pénzt) fizet.

A fenti igényeket kielégíteni bizony nem könnyű feladat. A hálózatokat üzemeltető--fenntartó cégek akkor tudnak versenyben maradni, ha a finnyásnak tűnő előfizetői elvárásokat teljesítik. Természetesen a felsorolt igények kielégítését saját maguk részére kötelezővé teszik, de a fenti követelményeket szolgáltatói szemszögből fogalmazzák meg. Nézzük most meg, hogy az előzőek analógiájára mit tud biztosítani a hálózat üzemeltetője:

- Többféle kivitelu és "intelligenciájú", igen könnyen kezelhető készülékeket;
- Biztosítja, hogy az általa üzemeltett hálózat kiterjedése (a lefedettség mértéke) egy országon belül a lehető legnagyobb legyen, és szerződéseket köt azonos rendszert használó külföldi szolgáltatókkal (roaming szerződés) annak érdekében, hogy előfizetője minél több országban tudja készülékét használni;
- Biztosítja, hogy az előfizetője mindenkor aktuális helyét a rendszer folyamatosan nyilvántartsa, így hívás esetén bárhol elérhető legyen, még akkor is ha nem a honos hálózatában tartózkodik;
- Az előfizető jó minőségű kommunikációját (beszéd- és adatforgalom) minden esetben igyekszik fenntartani, még mozgás esetén is, és többszintű biztonsági rendszer alkalmazásával gondoskodik az előfizetői adatok védelméről;
- Az előfizető kívánsága szerint vehet igénybe távközlési szolgáltatásokat és tarifacsomagokat, attól függően, hogy milyenek az előfizető telefonálási szokásai (pl. számlás vagy kártyás elszámolást igényel);
- A rádiós átviteli úton beszélgetése, adatai titkosítva vannak, így azokat nem lehet lehallgatni. A titkosítási kódhoz semmilyen formában hozzáférni nem lehet, ezt a titkosítási eljárás maximálisan biztosítja,
- A díjszabási elvek kialakításának elsődleges szempontja a "kereslet-kínálat" elve. Ha az előfizető által igényelt szolgáltatás elvárt minősége egyensúlyban van a szolgáltatás díjaival, nem kell aggódni a cég működését illetően.

1. 2. Szabványosított digitális mobil rendszerek

Magyarországon GSM rendszerű hálózatot három szolgáltató biztosít. Az alábbi felsorolásban más rendszerű mobil hálózatokat is megemlítünk, de ezek előfizetői száma még csak meg sem közelíti a világméretű GSM rendszer előfizetőinek számát, amely egyes becslések szerint 2001 végen már meghaladja a félmilliárdot.

Nagy teljesítményű, nagy kiterjedésű rendszerek:

GSM (Global System for Mobil communication): 900, 1800 és 1900 MHz sávban működő páneurópai szabvány, jelenleg már más földrészekre is kiterjedt világméretű hálózattá terebélyesedett.

NADC-TDMA (S-54): Időosztásos észak-amerikai digitális triobil rendszer.

NADC-CDMA (5-95): Az S-54 továbbfejlesztett változata. Érdekessége, hogy kód-hozzáférési technikát használnak (Code-Division-Multiplex-Access), amellyel jelentősen nő a csatornasebesség (1,2288 Mbit/sec).

JUC (Japanese Digital Cellular): Japán digitális rendszer, 3 duplex sávban működik.

Kis teljesítményű, telephelyi hálózatok:

CT-2 Telepoint és CT2 Plus: Angliából kiindult, de a világon már számos országban (Európában és Ázsiában) használt rendszer, elsősorban repülőtereken, vasúti pályaudvarokon használt hálózat. A bázisállomás hatósugara kb. 100 m, de a bázisállomáson keresztül bármelyik nagy telefonhálózat elérhető, de hívás nem fogadható. Érdekessége, hogy a duplexelés időosztásban (TDD=Time Division Duplexing) történik, azaz adás- és vételirányban ugyanazt a sávot használják

DECT (Digital European Cordless Telephone): A CT2-höz hasonló, de illeszkedik a GSM-hez a használt modulációt illetően. Hívásfogadás is lehetséges, valamint alkalmas helyi adathálózat kialakítására is.

CT3: Az Ericsson által kifejlesztett rendszer, a CT2 és DECT elonyeit egyesíti. PHP: Japánban használt, kevésbé elterjedt mikrocellás rendszer

TETRA: Nagybiztonságú zárt felhasználói körű rendszer. Elsősorban a rendőrségi és nemzetbiztonsági célokra készült.

Összehasonlításképpen az alábbi táblázatban néhány, a fentiekben felsorolt rendszer legfontosabb jellemzőit tüntettük fel:

Rendszer	IS-54	GSM900	JDC	IS-95	DECT	PHP	CT2
Hozzáférés	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	FDMA/ CDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	FDMA
Frekvenciasávok	869-894 824-849	935-960 890-915	810-826 940-956	869-894 824-849	1800-1900	1895-1907	864-868
Duplexelés	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD
Csatorna- távolság (kHz)	30	200	25	1250	1728	300	100
Moduláció	$\pi/4$ - QDPSK	GMSK	$\pi/4$ - QDPSK	BPSK/ QPSK	GFSK	$\pi/4$ - QDPSK	GFSK
Beszédkódolás és sebessége (kbit/s)	VSELP 8	PRE-LPT 13	VSELP 8	QCELP 1-8 (vált)	ADPCM 32	ADPCM 32	ADPCM 32
Beszédcsatornák száma vivonként	3	8	3	-	12	4	1
Csatornasebesség (kbit/s)	48,6	270	42	1288,8	1152	96	72
Keretido	40	4,615	20	20	10	5	2

2. A GSM rendszer elemei

2.1. A GSM története, jelene, jövője

Egy egységes digitális rádiótelefon rendszer létrehozásának szükségességét mindenképpen sürgette az a tény, hogy az egyes országokban megvalósított hálózatokat külön-külön fejlesztették ki - a nemzeti igényeknek megfelelően - és ezáltal a felhasználó csak az "anyaországon" belül tudta a szolgáltatásokat igénybe venni. A hálózatok közötti átjárhatóság a közös szabványok hiányában nem volt lehetséges. Az európai egységesítési törekvések nyomán megjelentek az egységes távközlési rendszerek iránti igények. 1982 júniusában az észak-európai országok javaslatára az Európai Országok Postai és Távközlési Szervezeteinek Konferenciája (CEPT) kijelölt egy nemzetközi szakmai szakértői csoportot azzal a céllal, hogy kidolgozza egy egységes páneurópai mobil telefonrendszer szabványait. A szakértői csoport neve Groupe Spéciale Mobile volt - amely most a European Telecommunications Standards Institute (ETSI) aktív tagja -, ebből származik az eredeti GSM rövidítés. Ma a GSM megnevezést leginkább "Global System for Mobile communication" rövidítéseként használjuk.

1986 decemberében az Európai Közösség Tagországai elhatározták, hogy az összeurópai hálózat megvalósításához szabaddá kell tenni minden országban egy kijelölt frekvencia sávot. A 900 MHz körüli tartományban jelölték ki két frekvencia sávot a digitális rádiótelefon-rendszer részére. A hálózat kiépítését a kilencvenes évek elejére tervezték.

1937. szeptember 7.-én 13 ország írta alá a Memorandum of Understanding (MoU) közös nyilatkozatot, amelyben kinyilvánították egyetértésüket a digitális rendszer kidolgozására. A bevezetés határidejét nem sikerült betartani. A technikai problémák a vártnál nagyobbak voltak, különösen a kis méretű, viszonylag olcsó készülékek kifejlesztése okozott problémákat.

Az első GSM hálózatok 1992-ben kezdték el működésüket Nyugat-Európában. A kisméretű kézi készülékek megjelenésével ugrásszerűen megnőtt a lehetséges felhasználók csoportja és a hálózatok előfizetőinek a száma megsokszorozódott. Az egyes országok üzemeltetői, szerződéseket kötöttek egymással a másik fél előfizetőinek a kiszolgálására (roaming), ezáltal az új rendszer valóban páneurópaivá vált.

A GSM rendszer azonban kinötte Európát és igen rövid időn belül az egész világra kiterjedő, világméretű hálózat terebélyesedett. Az első nem európai ország, amely a GSM rendszer bevezetése mellett döntött 1992-ben Ausztrália volt. 1996-ra több mint 60 országban, száznál is több szolgáltató választotta a GSM rendszert. A meglevő analóg hálózatokkal szembeni főbb előnyök a következők voltak:

- a gazdaságos frekvencia kihasználás
- a nemzetközi roaming lehetősége
- a kiemelkedő adatbiztonság
- az egész világra érvényes szabványok
- az új szolgáltatások bevezetésével szembeni nagyfokú rugalmasság
- a nagymértékű alkalmazás és a technikai fejlődés következtében, egyre olcsóbbá váló rendszertechnika és készülékek
- a GSM rendszer a hatékony működés és más hálózatokhoz való jó csatlakoztathatóság érdekében a belső kialakításában, a rendszer felépítésében; külső és belső csatlakozási tulajdonságaiban követi az ISO OSI (Open System Interconnection) hétrétegű referenciamodellt. A GSM alapvetően a No.7 jelzésrendszert használja alapként, és erre építi saját protokolljait.

A kelet-európai országok közül elsőként hazánkban építették ki a GSM rendszert. A magyar törvényeknek megfelelően két szolgáltató kapott hálózatképzési engedélyt (WESTEL 900, PANNON GSM). Az 1994-es év elején indult be a kereskedelmi szolgáltatás, először Budapest területén. A lefedettség mértéke gyorsan nőtt és 1995 végére elérte az ország 90 százalékát. A kiépítés ütemében születtek meg a külföldi szolgáltatókkal kötött roaming szerződések, amelyek által hazánk is a világméretű hálózat részévé vált. A fejlődés természetesen nem állt meg, szinte naponta jelennek meg a piacon új mobil készülékek, melyek kezelése egyre egyszerűbb, szolgáltatásaik pedig egyre magasabb színvonalat képviselnek. A beszéd jellegű szolgáltatások minőségi javulása és bővülése mellett egyre nagyobb az előfizetői igény az adat- és faxátvitelre is. Az ehhez kapcsolódó szolgáltatásokat ugyan már biztosítani tudja az üzemeltetők nagy része (pl. Internet, Fax postafiók stb.), azonban ezek megbízhatósága valamint az adatátviteli sebesség növelése még megoldásra váró problémák. A rendszer lehetőséget ad egy paging (személyi hívó rendszer) jellegű szolgáltatásra is, amely segítségével pár soros írásos üzenetet (SMS) küldhet a mobil előfizető a központ segítségével egy másik mobil készülék felé.

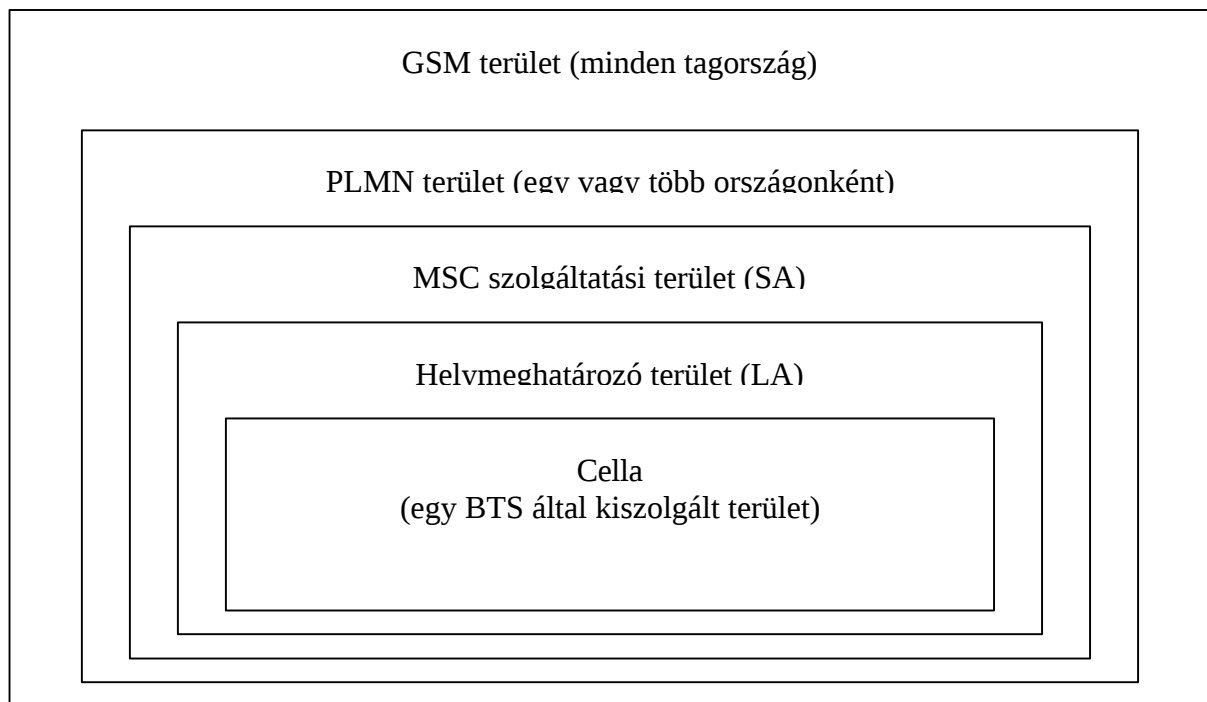
A rendszer bővítésének lehetséges Leggyorsabb módja az 1800 MHz sáv megnyitása volt, de Amerikában csak az 1900 MHz sávban tudtak GSM szolgáltatást biztosítani. A GSM 900-as és 1800-as rendszerek egymás között az előfizető számára mára már "átlátszóak", ennek pedig elengedhetetlen feltétele a kétnormás (dual band) készülékek kifejlesztése és bevezetése volt. A könyv megírásának idején még nem tudhatjuk, hogy a szakértők milyen jövőt szánnak a GSM rendszernek, annyi azonban bizonyos, hogy a fejlesztések töretlenül folytatódnak és a

GSM világméretű hálózatnak tekinthető. A tendenciák mindenesetre azt mutatják, hogy a mobil távközlési fejlesztések egy nagysebességű világméretű rendszer létrehozására törekcszenek, amelyben a beszédátvitel mellett számottevően nagyobb hangsúly kapnak a nem beszéd jellegű (szöveg, video, kép, audio és számítógépes adatok) információk is. Ennek kialakításában várhatóan a GSM is igen nagy szerepet fog játszani, hiszen tagadhatatlan elönye, hogy ma a világ legtöbb országában használt rendszer. Több fejlesztési csoport foglalkozik az Internet protokoll és a mobil kommunikációs összeházasításával, ennek egyik első eredménye 1999-ben a WAP (Wireless Application Protocol) megjelenése volt. Kiderült azonban, hogy a rádiós szakaszon az igen korlátozott adatátviteli sebesség miatt a WAP csak akkor lehet hatékony megoldás, ha a GSM-ben eddig alkalmazott áramkörkapcsolt összeköttetés helyett a csomagkapcsolt megoldást alkalmazzák. Ezt a technológiát GPRS-nek (General Packet Radio Service) nevezték el és 2001 második felében (a könyv elkészülte után), várhatóan számos GSM hálózatban bevezetésre kerül. A GSM/GPRS telefonok az eddigi 2. generációs mobilokkal szemben, úgynevezett 2 és fél generációs mobilok, amelyek használatával átviteli sebesség megsokszorozódik. A harmadik generációs mobil rendszerek elterjedése valószínűleg a harmadik évezred első évtizedének a végére várható. Egyik legesélyesebb 3. generációs rendszer az UMTS (Universal Mobile Telephone System), amely egyes vérmes remények szerint akár 2 Mbit/s átviteli sebességet is biztosíthat.

2.2. A hálózat geográfiai struktúrája

A GSM világméretű hálózat, lefedettségét több száz szolgáltató biztosítja. Ha a teljes GSM rendszer földrajzi kiterjedését egy hatalmas világtérképre felrajzoljuk, a teljes hálózati lefedettséget az országokon belüli hálózati lefedettségek összessége alkotja.

Az alábbiakban áttekintjük a hálózat területi elosztását.



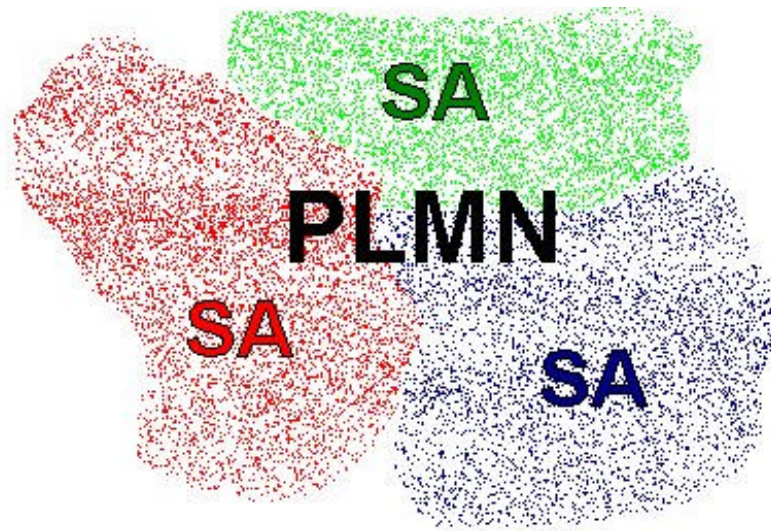
2.1 ábra A GSM területi felosztása

Közcélú Földi Mobil Hálózat (CSM/PGMN)

A GSM világhálózatán belül a legnagyobb területi és szolgáltatási egység a PLMN (Public Land Mobile Network: Közcélú Földi Mobil Hálózat). A PLMN lényegében egy szolgáltató--üzemeltető cég által lefedett földrajzi terület (többnyire egy országon belül), amelyen belül a szolgáltató a GSM előfizetők számára biztosítja a mobil távközlési szolgáltatásokat. Hazánkban jelenleg három PLMN működik: Pannon GSM Rt., a Westel Mobil RT. és a Vodafone.

Szolgáltatási terület (MSC Service Area)

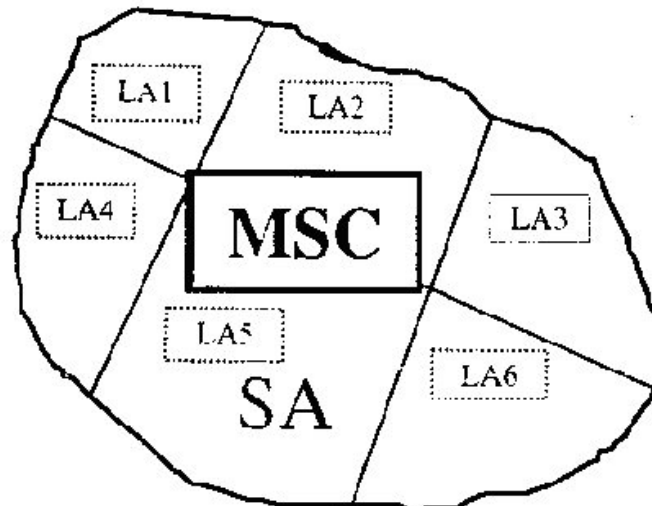
A PLMN-en belül alakítják ki a szolgáltatási területeket (SA: Service Area), amelyek valójában egy-egy mobil kapcsolóközpont által (MSC: Mobile Switching Centre) kiszolgált körzeteknek tekinthetők. A szolgáltatási területek kialakítása és nagysága függ az előfizetők várható számától, a forgalom becsült értékétől (kapcsolóközpont korlátozott kapacitása miatt) és még számos egyéb tényezőtől.



2.2 ábra A PLMN belül szolgáltatási területeket alakítanak ki

Helymeghatározó terület (Location Area)

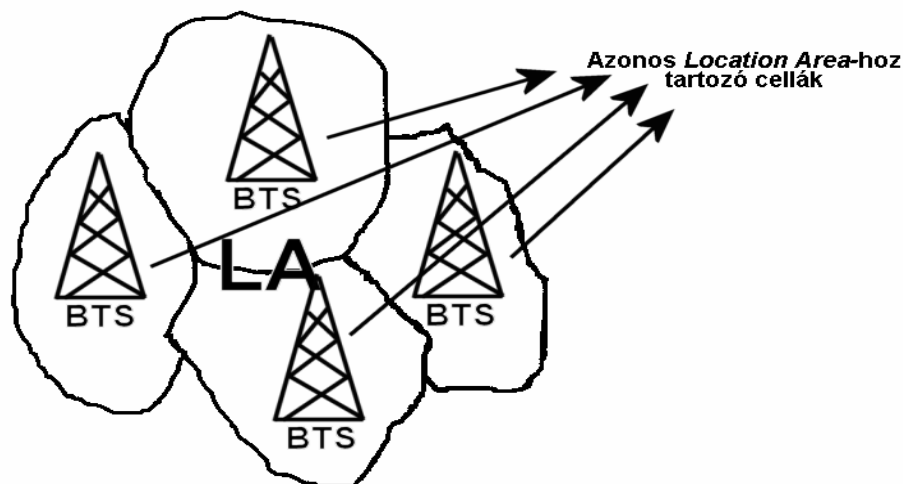
A mobil rendszerek alapvető jellemzője, hogy a mozgó előfizető aktuális helye mindenkor regisztrálva van annak érdekében, hogy az előfizető bárhol elérhető legyen (pl. hívás érkezik felé). A mobil előfizető aktuális helyének meghatározása céljából a PLMN-en belül logikailag elkülöníthető területeket, úgynevezett „helymeghatározó területeket” (LA: Location Area) alakítanak ki. A terület azonosító kódját (LAI: Location Area Identity) a mobil készülék a bázisállomás által küldött jelzések sávjában folyamatosan fogja, így annak megváltozását azonnal érzékeli. Ha mobil készülék a mozgása során *Location Area* határt lép át, minden esetben maga kezdeményezi helyzetadatainak frissítését. Mivel ez az adat a központhoz tartozó előfizetői regiszterben van nyilvántartva. Ezt a folyamatot hívjuk „location update”-nek. Erő a folyamatról részletesen szólnunk a helyzet-nyilvántartással kapcsolatos részben.



2.3 ábra A központ (MSC) a helymeghatározás céljából a szolgáltatási területen belül Location Area –kat definiál

Cellák

A Location Area egy vagy több cella együttes területét jelenti. A cellák lényegében egy-egy adó-vevo állomás (bázisállomás) rádiós lefedettségi körzetét képezik. A bázisállomást a továbbiakban BTS-nek (Base Transceiver Station) hívjuk. A bázisállomások helyének meghatározása, a cellás struktúra kialakítása a mobil hálózat tervezésének egyik sarkalatos pontja. Ha a Location Area-hoz több cella tartozik, hívásjelzés esetén - mivel az előfizető helyét csak a központban tárolt LAI azonosító jelzi - a rendszer a mobil készüléket az összes LA-hoz tartozó BTS keresi.



2.4 ábra: A Location Area több cellát is magában foglalhat

A Location Area azonosítására szolgál a Location Area Identity (LAI) azonosító, amelyet minden cellában állandóan lesugároznak. A vett LAI-t a készülék a SIM kártyán tárolja el. Ha a mobilkészülék érzékeli a LAI megváltozását, azaz az eltárolt és vett azonosító nem egyezik meg, a készülék helyfrissítési eljárást kezdeményez a központban. Ha egy nap túl gyakran változtatjuk a helyünket, a telefon sok helyfrissítési eljárást kezdeményez, ezért az akkumulátor sokkal hamarabb lemerülhet, mintha csak kevesebb helyváltoztatást végzünk.

2.3. A GSM funkcionális felépítése, elemei

Ha GSM funkcionális felépítését tekintjük, a rendszert lényegében három nagyobb egységre bonthatjuk. Ezek a következők:

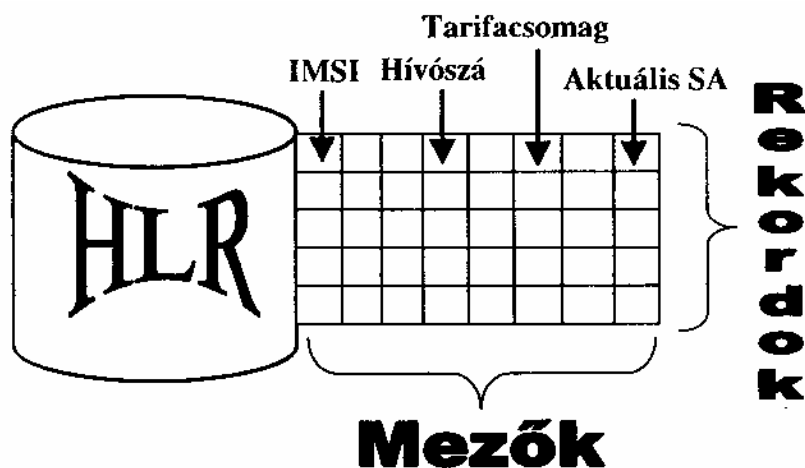
- Kapcsoló alrendszer. (SS = Switching Subsystem)
- Bázisállomás alrendszer(BSS: Base Station Subsystem)
- Működtetési és Üzemfelügyeleti alrendszer(OMS = Operation and Maintenance Subsystem)

E három alrendszer együttes működése biztosítja a hálózat megbízható működését, folyamatos üzemfelügyeletét, a szolgáltatások biztosítását. Ezek a funkciók minden PLMN-en belül megvalósulnak, szigorúan kötött ETS1 (European Standards Institute) szabványoknak megfelelően.

A kapcsoló alrendszer(SS)

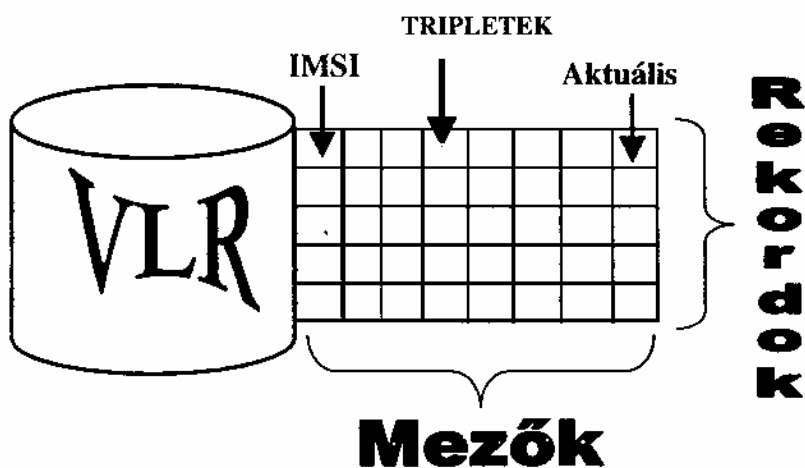
Az alrendszer legfontosabb eleme a mobil kapcsoló központ (MSC = Mobile Switching Center). Ez felel a hívótól a hívottig a hívás (elépítéséért, irányításáért, a kapcsolási funkciók ellátásáért és biztosítja az előfizetők részére az alap- és kiegészítő szolgáltatásokat. Az MSC az együttműködési funkció (IWF: Interworking Functions) segítségével egyfajta interfész szerepét is ellátja a GSM és más távközlési hálózatok között. Ilyen hálózatok lehetnek a nyilvános áramkörkapcsolt telefon- és adathálózatok (PSTN, ISDN, CSPDN) valamint a csomagkapcsolt adathálózatok (PSPDN), mint például az Internet. A GSM rendszer központjai és számos eleme a No.7 jelzésrendszer segítségével kommunikálnak egymással, amelynek protokolljai az ISO/OSI hét rétegu referenciamodell alapján rétegződnek.

A kapcsoló alrendszerben három fontos adatbázis tárol adatokat az előfizetőkkel kapcsolatban. Az egyik a honos helymeghatározó regiszter (HLR = Home Location Register), amely információkat tárol a szolgáltató összes előfizetőjéről. Ez lényegében egy hatalmas központi adatbázis, amelyben a PLMN összes előfizetője nyilván van tartva a nemzetközi mobil előfizetői azonosítója (IMSI: International Mobile Subscriber Identity) alapján. Minden előfizetőhöz a HLR-ben egy ún. IMSI-rekord tartozik, amelyen az előfizetőhöz tartozó információk szigorú rendben vannak csoportosítva. Ilyen információ lehet például az előfizető hívószáma, a díjcsomag típusa, az előfizető által igénybe vehető szolgáltatások fajtája (esetleg korlátozása), a biztonsági funkciók ellátásához szükséges aktuális paraméterek (Triplettek) és még sok egyéb információ. Ha az előfizető felé hívás érkezik a vezérlés eloszor mindig a HLR felé irányul, ugyanis az innen kiolvasott helyadatok alapján lehet csak az előfizetőt megtalálni. A HLR-ben minden IMSI rekordon rögzítve van annak a központnak az azonosítója, amellyel az előfizető utoljára vette fel a kapcsolatot. Hálózatonként logikailag átlátásban egy HLR implementálható, bár a tárolási erőforrásokat az előfizetők nagy száma miatt általában megosztják.



2.5 ábra: A HLR a PLMN előfizetőirol tárol információkat
(A nyilvántartott IMSI-k egy szolgáltatóhoz tartoznak)

A látogató helymeghatározó regiszter (VLR = Visitor Location Register) azokról a GSM előfizetőkrol tárol információkat, akik a szolgáltatási területen (MSC-hez tartozó Service Area) belül tartózkodnak. Itt azokhoz az előfizetőkhoz tartoznak IMSI rekordok, akik a központ ellátási körzetében tartózkodnak, vagyis azokban a cellákban, amelyeket ugyanazon központ lát el. A világon található összes GSM előfizeto ilyenformán „látogatónak” tekintheto, még akkor is, ha a honos hálózatában tartózkodik. Miközben a GSM előfizeto a nagy GSM hálózatban "bolyong", a HLR és az aktuális (meglátogatott) MSC körzet VLR-je az előfizeto kiszolgálása érdekében folyamatos adatcserét végez. Ehhez az szükséges, hogy a honi PLMN roaming szerződést kössön azzal a külföldi szolgáltatóval, akinek az előfizetoje éppen a lefedettségi területén belül tartózkodik. Ha az előfizeto kilép a körzetbol az IMSI rekordját kitörlik.



2.6 ábra: A VLR az MSC-hez kapcsolódik és a szolgáltatási területen belül tartózkodó GSM előfizeteket tartja ideiglenesen nyilván (AZ IMSI más szolgáltatók előfizetoit is jegyezheti.)

A VLR-ben van nyilvántartva az előfizeto aktuális tartózkodási helye is, azaz a Location Area azonosítója.

A HLR-hez kapcsolódik a hitelesítési központ (AUC = Authentication Centre), amely a hálózat előfizetoithez rendeli a hitelesítési (autentikáció) és titkosítási (ciphering) eljárásokhoz szükséges paramétereket, az úgy nevezett triplet-eket. Az AUC a hálózat oldaláról jelentos

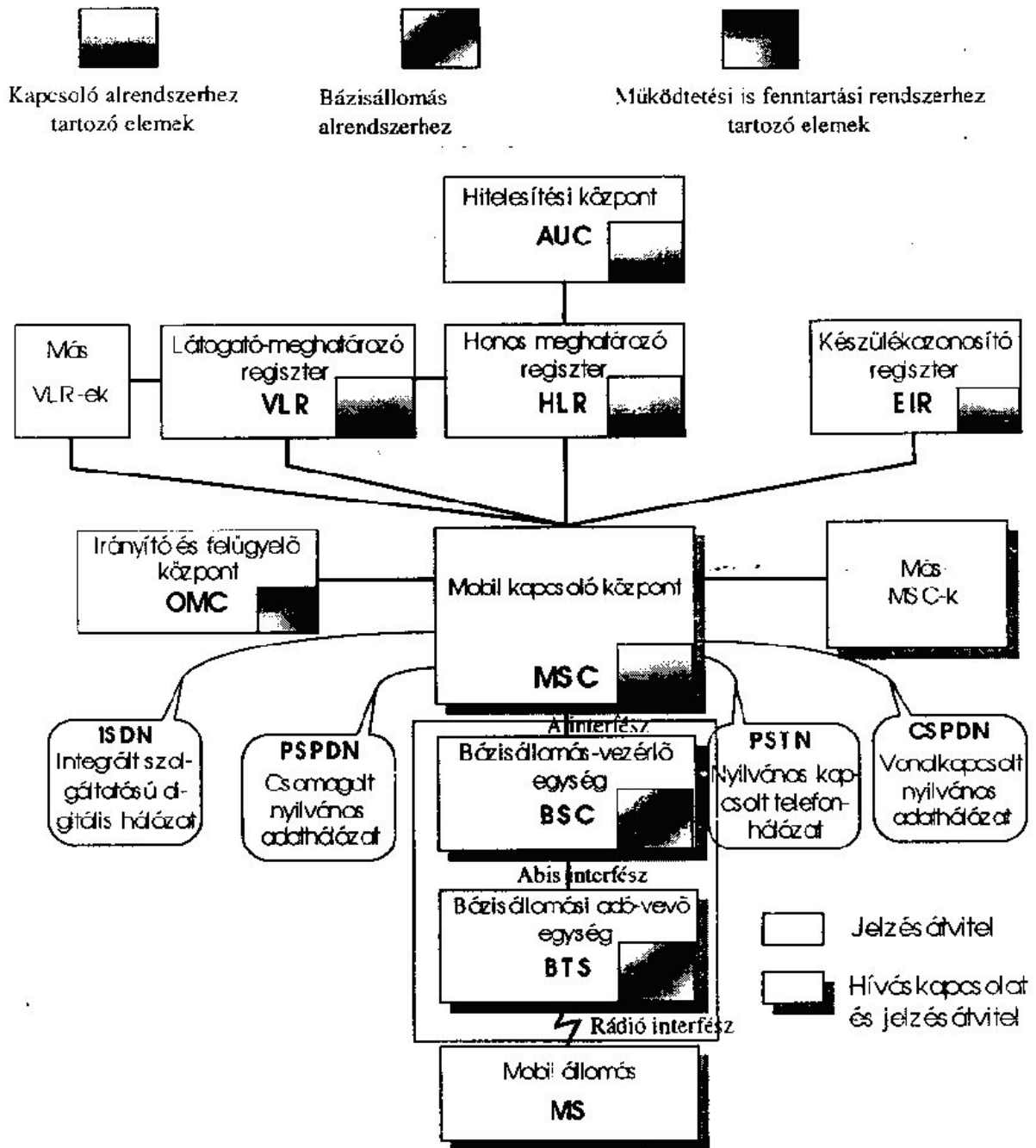
feladatot végez az előfizetőhöz tartozó biztonsági funkciók ellátásában. (Az előfizetői oldalról a SIM kártya biztosítja ezeket a funkciókat).

Az MSC-hez kapcsolódó készülékazonosító regiszter (EIR = Equipment Identity Register) a hálózatban használatban lévő mobil készülékek azonosítóját (IMEI = International Mobile Equipment Identity) regisztrálja. Az IMEI tartalmazza többek között a készülék típuskódját, gyártóját és a gyártási számát. Attól függően, hogy a készülék használatához milyen jogosultságot rendel a szolgáltató, a nyilvántartásba vett IMEI számok három különböző listába vannak rendezve. A fehér listán azok a készülékek szerepelnek, amelyeket korlátozások nélkül lehet használni. A szürke listás készülékek használata különböző okok miatt átmenetileg korlátozott (például tesztelés). A fekete listán nyilvántartott telefonok teljes körben ki vannak tiltva a GSM hálózathoz. Ha a készüléket ellopják, az előfizető bejelentése alapján a lopott készülék IMEI száma fekete listára kerül, és a GSM hálózathoz való hozzáférése nem engedélyezett. (Az IMEI ellenőrzésére a rendszerrel való kapcsolatfelvételnél kerül sor.)

A bázisállomás alrendszer (BSS)

A bázisállomás alrendszert két alapvetően különböző funkciójú hálózati elem alkotja. Az egyik a bázisállomás. (BTS = Base Transceiver Station), funkciója a megfelelő rádiós kapcsolat megteremtése a rendszer és a mobil előfizető között. Az BTS besugárzási területe a cella, amely a mobil hálózat alapsejtjének is tekinthető.

A BTS-ek egy-egy csoportját vezérlik a bázisállomás vezérlők (BSC = Base Station Controller). A BSC valójában egy a vezetékes hálózatokban is használt digitális kapcsolóközpont (pl. AXE 10.), amely mobil menedzsment funkciókkal van kibővítvén. A BSC teremti meg a kapcsolatot a BTS-ek és az MSC között, biztosítja a rádiós interfészen történő kommunikáció szervezését és vezérlését. Jelentős szerepe van a csatornák kiosztásában és a beszélgetés közbeni csatorna váltás vezérlésében. A mobil készülékek érkező mérési eredmények kiértékelése alapján a BSC dönt a handover (beszélgetés közben csatornaváltás) végrehajtásáról, és biztosítja a csatornaváltás végrehajtását vezérlő jelzéseket a mobil előfizető és a rendszer más elemei felé.



2.7 ábra: A GSM funkcionális elemei és kapcsolata más hálózatokkal

A bázisállomás berendezései állítják elő a cellában kisugárzandó, megfelelő frekvenciájú, teljesítményű és adattartalmú jelet, annak érdekében, hogy a cella területén található mobiltelefonok a bázisállomás közvetítésével kommunikálhassanak a központtal, és a központon keresztül más elofizetokkal. A BTS és BSC közötti interfészt **Abis**, míg a BSC és MSC közti interfészt **A** interfésznek nevezzük

A mobil állomás (MS)

A mobil állomás (MS = Mobile Station) nem tartozik egyik alrendszerbe sem, azt mondhatjuk, hogy az MS a GSM „elofizetoi” oldala. A mobil állomás két részből áll: a

mobilkészülékből (ME = Mobile Equipment) és az előfizetői azonosító modulból (SIM = Subscriber Identity Modul) ami végeredményben egy chipkártya. A készülék és a belehelyezett SÍM kártya alkotja együttesen az előfizetőt, hiszen a mobiltelefon csak akkor használható, ha valamelyik szolgáltató előfizetőjeként rendelkezünk a hálózathoz való hozzáférési jogosultsággal. A mobiltelefont bármikor lecserélhetjük, de az előfizetői jogaink azzal természetesen nem változnak meg, hiszen a régi SIM kártyánkat helyezzük az új telefonba. Azt is megtehetjük, hogy egyszerre két szolgáltatóval állunk kapcsolatban, és hol az egyik, hol a másik SIM kártyát használjuk, attól függően, hogy például magáncélból vagy üzleti célból telefonálunk. A SIM legfontosabb funkciója az előfizető védelme, habár számos hálózati- és személyes adatot (mint például telefonszámok, SMS, stb.) is tárol. A SÍM kártyán található a nemzetközi mobil előfizetői azonosítónk (**IMSI** = International Mobile Subscriber Identity), amely kizárólagosan azonosítja előfizetői „létünket” a nagy GSM hálózatban. Amikor Magyarországon, vagy külföldön használjuk a telefonunkat, a rendszer az IMSI alapján azonosít minket, és a számlázást is ez alapján adminisztrálja le a honos hálózat felé. Az IMSI tehát magában hordozza az országkódot, a PLMN kódját (Westel, Pannon vagy Vodafone) és az előfizetői számot. Az IMSI nem azonos a hívószámunkkal! (Ezt majd később megmagyarázzuk.) A SÍM funkciójával a GSM védelmi rendszere fejezetben fogunk foglalkozni.



2.8 ábra: A mobil állomás (MS) részei

Működtetési és üzemeltetési alrendszer (OMS)

Az OMS funkciói a hálózat üzemeltetésével és fenntartásával vannak összefüggésben. Az üzemi körülmények folyamatos biztosítása, a hálózat karbantartása és a forgalmi adatokkal kapcsolatos statisztikák elkészítése az alrendszer legfontosabb feladatai közé tartoznak. Például a bázisállomások emberi felügyelet nélkül működnek, ezért egy bonyolult távfelügyeleti rendszer biztosítja az állomások figyelését (hőmérséklet, páratartalom, betöréssjelzés, stb.). Az alrendszer működésének vezérlését az OMC (Operating and Maintenance Centre) végzi, ami egy többterminálos, számos funkcióval ellátott bonyolult hardver és szoftver egység.

Az OMS feladatai több, egymástól elkülöníthető, de összefüggésében együttesen is kezelhető és feldolgozható funkcióból áll:

-Konfiguráció menedzsment

A bonyolult GSM hálózat beállítását, hálózati paraméterek kezelését és automatikus rendszerkonfigurációt tesz lehetővé. A konfiguráció menedzsment feladatai a következők:

- Cellás hálózat adminisztrációja
- Grafikus cellamegjelenítés
- Térkép információ-telepítő eszköz
- BTS menedzsment
- Következetes ellenőrzés

-Riasztás menedzsment

A hálózatban az alarm (riasztás) kezelés számítógépes rendszerrel történik. A BTS-ről jövő riasztás mikrohullámú hálózaton keresztül jut el a központba, ahol a PLMN egészét ábrázoló térképen lehet a riasztás helyét nyomon követni. A terminált figyelő operátor folyamatosan figyeli a riasztási állapotokat, és a továbbiakban a riasztási szinttel függően jár el.

-Adatgyűjtés (Performance menedzsment)

A felügyeleti központ felé a nap 24 órájában érkeznek mérési adatok a hálózat forgalmáról. Ezek az adatok a központban további feldolgozásra kerülnek, és a rendszer statisztikai kimutatásokat készít a hálózat további fejlesztése, bővítése céljából. A statisztikák grafikus formában kerülnek megjelenítésre, például a forgalmi útvonalak terhelési viszonyairól, és forgalom eloszlásáról az egyes átviteli utak között. A mérési adatok lútnyomó többségben napi adatok, de lehetőség van régebbi adatok adatbázisból történő elhívására is.

2.4. GSM azonosító számok

A GSM rendszer számos azonosítót használ a jelzésátvitelben. Az azonosítók többsége szigorúan meghatározott formájú és tartalmú, ilyenformán a PLMN hálózatok közötti kompatibilitás biztosított. Némely azonosítónak csak a hossza van maximálva, tartalmát az üzemeltető választhatja meg előírt szabályok szerint. Az alábbiakban ismertetjük az azonosító számok jelentését és struktúráját, hiszen a további fejezetekben ezek ismerete elengedhetetlenül szükséges lesz.

MSISDN (Mobile Station ISDN Number) (Mobil állomás ISDN száma)

Az ITU előírásai szerint a mobil telefonszám vagy előfizetői szám a következő módon alakul:

$$\text{MSISDN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

CC = Country Code (ország kód)

NDC = National Destination Code (nemzeti cél kód)

SN = Subscriber Number (előfizetői szám)

Az MSISDN egy olyan szám, amely egyértelműen azonosít egy mobiltelefon előfizetőt a nyilvánosan kapcsolt telefonhálózatban. Mikor a vezetékes (PSTN) hálózatról hívunk mobil készüléket végeredményben az MSISDN számát tárcsázzuk. Hossza hálózatonként változó, de maximálisan 15 digit hosszú lehet. Az MSISDN szám hossza attól függően változik, hogy honnan kezdeményezzük a mobil felé irányuló hívást. A leghosszabb a hívószám, ha külföldről hívjuk, hiszen a nemzetközi eloválasztó után (általában 00) az országkódot és a hálózatkódot is tárcsázni kell. Legrövidebb a szám, ha a saját hálózatunkból hívjuk azt az előfizetőt, amelyik ugyancsak honos szolgáltatónkhoz tartozik. Vigyázzunk azonban külföldön a hívással! Ha egy külföldi hálózatban tárcsázzuk ugyanezt a számot, az ottani szolgáltató egyik előfizetőjét fogják kapcsolni.

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) Nemzetközi Mobil Előfizetői Azonosító

Az IMSI egy GSM előfizetőt egyértelműen azonosít a teljes GSM hálózatban. A GSM ajánlása szerint az IMSI hossza maximum 15 digit lehet. Minden hálózaton belüli jelzés, amely az előfizetővel kapcsolatos lényegében az IMSI alapján történik. Az IMSI a SIM kártyán van letárolva, és a HLR és VLR-ben található előfizetői információkhoz is az IMSI azonosság alapján lehet hozzáférni.

$IMSI = MCC + MNC + MSIN$

MCC = Mobile Country Code (mobil országkód), 3 digit
MNC = Mobile Network Code (mobil hálózat kód), 2 digit
MSIN = Mobile Subscriber Identification Number (mobil-előfizetői azonosító szám), max. 10 digit

TMSI (Temporally, Mobile Subscriber Identity) Átmeneti Mobil Előfizetői Azonosító

A TMSI a hálózaton belüli ideiglenes, átmeneti előfizetői azonosságot biztosítja. Mivel a TMSI csak helyileg fontos (azaz az MSC/VLR területén belül), a rendszer a mobil minden bejelentkezése alkalmával változtathatja a TMSI-t, biztosítva ezzel az IMSI egyfajta védelmét. A TMSI-t a központ küldi el az MS felé, és a kommunikáció a továbbiakban a TMSI alapján történik. Az azonosító szám hossza és felépítése a PLMN üzemeltető által meghatározott, de hossza nem lehet nagyobb 4 oktettnél (32 bit).

IMEI (International Mobile station Equipment Identity) Nemzetközi Mobilkészülék Azonosító

Ezt az azonosítót a GSM rendszerben használt minden mobil készülék azonosítására alkalmazzák. Ennek megfelelően a következő kódokat tartalmazza:

$IMEI = TAC + FAC + SNR + sp$

TAC = Type Approval Code (típusjóváhagyás kódja), a központi GSM testület által jóváhagyott kód. 6 digit
FAC = Final Assembly Code (készlet kód), azonosítja a készülék gyártóját, 2 digit
SNR = Serial Number (sorozatszám). 6 digit

sp = spare, tartalék későbbi használatra, 1 digit

Az IMEI-k nyilvántartása rendkívül fontos a GSM biztonságos működéséhez. Láttuk, hogy ezek nyilvántartását a Készülékazonosító regiszter, az EIR kezeli, ahol három lista alapján vannak az IMEI-k csoportosítva (fehér, szürke, fekete). A készülék megvásárlásakor az IMEI szám a fehér listára kerül, de ha ellopják a fekete listára teszik. Az IMEI ellenőrzése a telefon használata közben, egy nap akár több esetben is megtörténhet. Bekapcsolás, híváskezdeményezés és fogadás, szolgáltatás aktiválása és deaktiválása, helyfrissítési eljárás esetében is történik IMEI ellenőrzés. Ilyenkor a rendszer utasítja a készüléket, hogy küldje el az azonosítóját, amit az EIR-ben nyilvántartott listák alapján leellenoriznek. Ha az ellenőrzés az IMEI-t érvényesnek találja, a telefon hozzáférési jogosultságot kap a rendszertől.

LAI (Location Area Ideitify) Helymeghatározó Terület Azonosító

A LAI-t a mobil előfizetők helyének azonosítására használják a GSM hálózaton belül. A LAI-t minden cellában állandóan sugározza a rendszer egy adott csatornán. A készülék detektálja a LAI-t és a SÍM kártyán eltárolja. Ha a detektált azonosító nem egyezik meg a SÍM kártyán előzően tárolt értékkel, helyfrissítési eljárást (location update) kezdeményez a rendszer felé. A LAI-t a VLR-ben tárolják az előfizetőkhez tartozó IMSI adatbázisban.

$LAI = MCC + MNC + LAC$

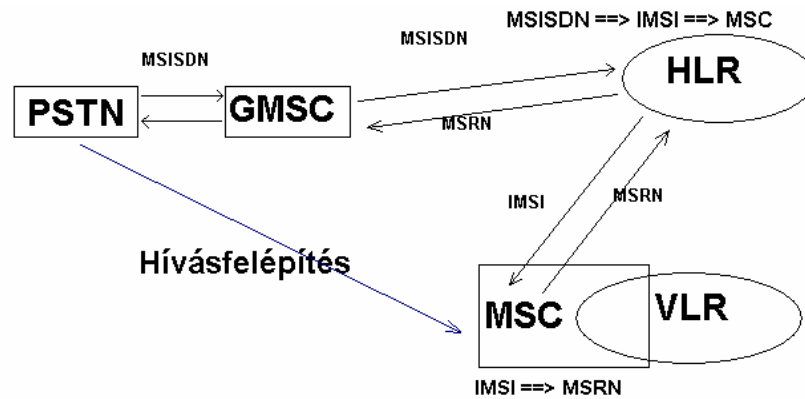
MCC = Mobile Country Code (mobil országkód), azonosítja az országot ugyanazzal a 3 digittal, mint az IMSI-ben.

MNC = Mobile Network Code (mobil hálózat kódja), azonosítja a GSM PLMN-t az adott országban, és ugyanaz az értéke mint az MNC-nek az IMSI-ben, 2 digit

LAC = Location Area Code (körzet kódja), azonosít egy-egy körzetet (LA = Location Area) a GSM PLMN-en belül. Maximális hossza 16 bit, így egy GSM PLMN-en belül összesen 65536 különböző körzet azonosítható.

MSRN (Mobile Station Roaming Number) Mobil állomás Roaming száma

Ha hívás érkezik a mobil előfizető felé, az MSISDN szám alapján a hívást a bejövő hívásokat kezelő úgynevezett GMSC-be (Gateway MSC) irányítja a hálózat (2.9. ábra). Az MSISDN számot a GMSC ezután HLR felé küldi, mert itt van regisztrálva, hogy az előfizető melyik VLR/MSC szolgáltatási körzeten belül tartózkodik. Az MSISDN szám alapján a HLR meghatározza a vonatkozó IMSI-t, és az összeköttetés felépítéséhez szükséges információt a HLR az LMSI alapján lekéri az aktuális VLR/MSC-től. Lényegében ez az azonosító az MSRN. Az MSRN a HLR-en keresztül a GMSC-be kerül, majd a hívásfelépítés további lépései már a külső hálózat és VLR/MSC viszonylatában történnek.



2.9. ábra: Az MSRN értelmezése

Az MSRN három részből épül fel:

$$\text{MSRN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

CC = Country Code (országkód)

NDC - National Destination Code (Nemzeti célkód}

SN = Subscriber Number (Elofizetoi szám/ideiglenes)

CGI (Cell Global Identity) Globális Cella Azonosító

Egy location area-n belül több cella is lehet, ezek azonosítására szolgál a globális cellaazonosító szám. Végeredményben a GSM hálózaton belül minden cella külön azonosítót kap.

$$\text{CGI} = \text{MCC} + \text{MNC} + \text{LAC} + \text{CI}$$

MCC = Mobile Country Code, 3 digit

MNC = Mobile Network Code, 2 digit

LAC = Location Area Code. max. 16 digit

CI = Cell Identity (cellaazonosító szám), max 16 digit

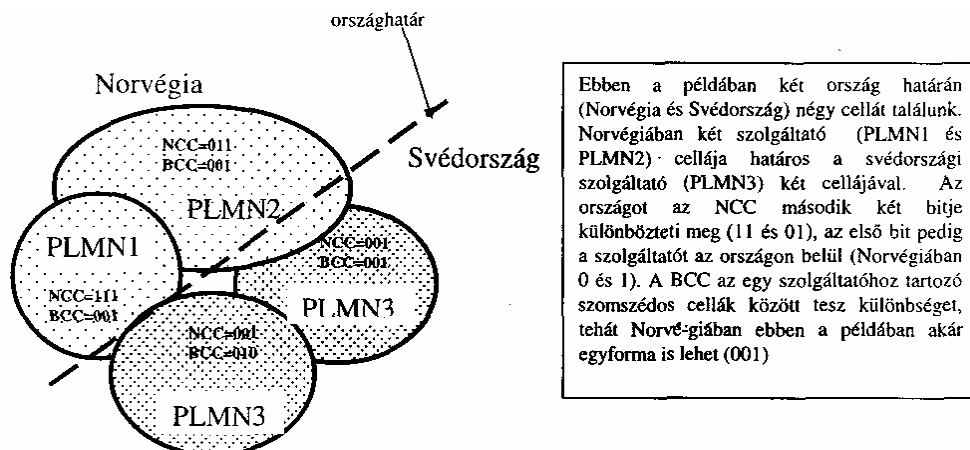
BSIC (Base Station Identity Code) Bázisállomás Azonosító Kód

A BSIC a mobil készüléket segíti a különböző szomszédos bázisállomások megkülönböztetésében. Erre például beszéd közbeni csatorna-váltás (handover) esetén van szükség, mikor a BSIC alapján a mobil készülék azonosítja a szomszédos cellákat. Ennek folyamatáról még bővebben lesz szó. A BSIC egy úgy nevezett „színkód” ami azt jelenti, hogy a szomszédos cellák más képzeletbeli színnel vannak jelölve, és nem lehet egymás mellett két azonos színű cella.

$$\text{BSIC} = \text{NCC} + \text{BCC}$$

NCC = National Colour Code, a GSM PLM azonosítója. E kód az országhatár két oldalán lévő PLMN üzemeltetőket különbözteti meg. A 3 bites NCC első bítje az

operátorra, második két bitje pedig az országra vonatkozik. Ennél fogva, egy országhatáron két azonos országbeli operátor és négy határos ország lehet.



2.10. ábra: A BSIC értelmezése példával

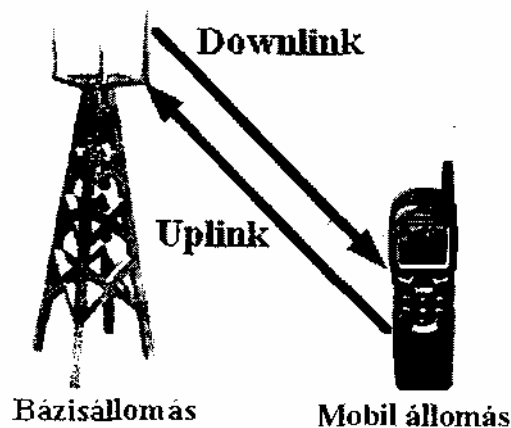
BCC = Base Station Colour Code A BCC azokat a szomszédos cellákat különbözteti meg, amelyek ugyanahhoz a hálózathoz tartoznak. Mivel a kód 3 bites, így összesen a BCC-vel 8 színkód definiálható.

3. A rádiós szakasz

3.1 A frekvencia-kiosztás

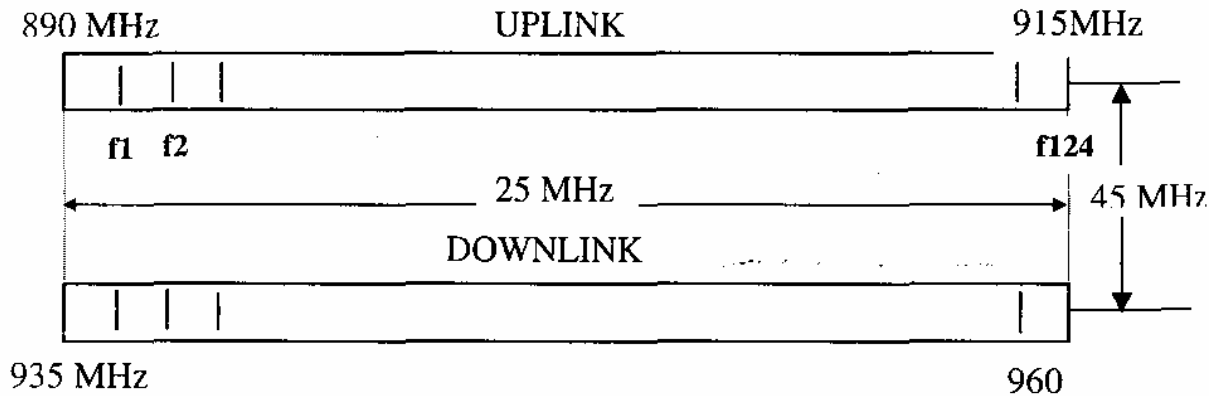
A GSM rendszer számára, az egész világon egységes frekvenciasávot jelöltek ki. Mivel az átvitel duplex jellegű, az adás és vételirány két egymástól távol elhelyezkedő frekvenciasávban valósul meg. A két különböző frekvenciasávban megvalósított duplexelési eljárást frekvenciaosztásos duplexelésnek nevezzük (FDD = Frequency Division Duplexing). Így ha az MS viszonylatában vizsgáljuk az átvitelt, minden adásirányú vivofrekvenciának (carrier = vivo) van egy duplex párja a vételi sávban. Hogy az átvitel irányának meghatározásakor ne legyen probléma a vonatkoztatási hely, a rádiós átvitelnél megkülönböztetünk uplink és downlink átvitelt. (Itt a nehéz fordítás miatt meghagytuk az angol kifejezéseket.)

Uplink irányról, átvitelről beszélünk akkor, ha az információ a bázis adó-vevo állomás (BTS = Base Station) felé, a mobil készülék irányából érkezik. Downlink az irány az ellenkező esetben, azaz a bázisállomástól a mobil készülék felé történik az átvitel, úgy is értelmezhetjük, hogy egyik esetben a magas bázisantenna lenéz, azaz lefelé sugároz (down) a mobilkészülék felé, a másik esetben pedig a föld közelében lévő mobil felnéz (up) a bázisantennára.



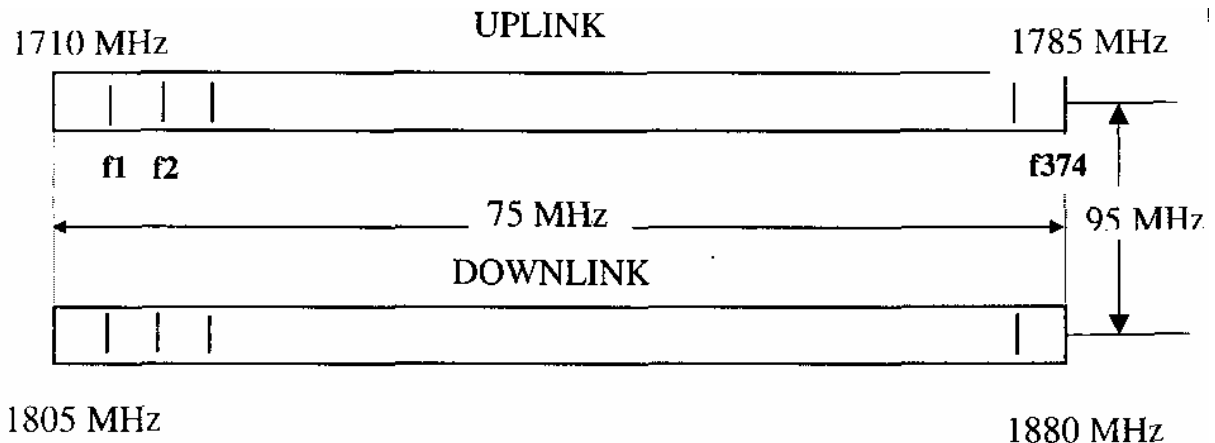
3.1. ábra: Az uplink és downlink irányok értelmezése

A GSM rendszerben a duplex frekvenciasávok kialakítását szigorúan rögzítették az előírások. Ha egy országban több üzemeltető cég épít ki GSM hálózatot a rendelkezésre álló frekvenciasávot szétosztják egymás között. A 900 Megaherzes tartományban két 25 MHz sávszélességű sáv áll rendelkezésre downlink és uplink sávban. Mindegyik 124 vivofrekvenciát tartalmaz, amelyek egymástól 200 KHz távolságban helyezkednek el, így egy csatorna sávszélessége is 200 kHz. A vivos úgynevezett duplex távolsága 45 MHz, ami azt jelenti, hogy minden uplink vivonek 45 MHz-el magasabb frekvencián megtalálható a duplex párja. Az alábbi ábra a GSM 900 rendszerben alkalmazott sávszélességet ábrázolja.



3.2. ábra: A GSM 900 frekvenciakiosztása

A GSM 1800 rendszerben nagyobb a sávszélesség, így a rendelkezésre álló vivók száma is több, szám szerint 374. A vivók távolsága ugyanúgy 200 kHz, mint a GSM 900-ban, az uplink és downlink sávszélesség 75 MHz, a duplex távolság pedig 95 MHz.

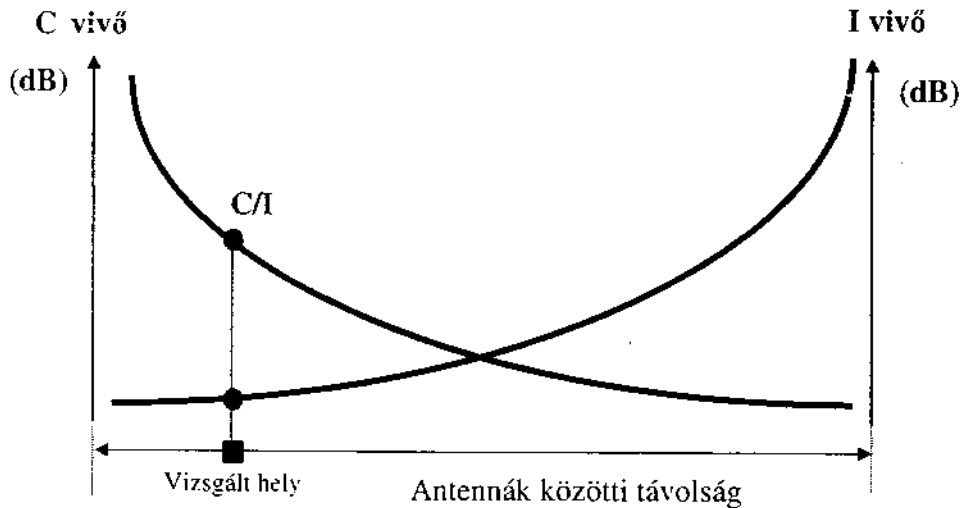


3.3. ábra: A GSM 1800 frekvenciakiosztása

3.2. A frekvenciák többszörös felhasználásának elve

Tekintetbe véve a vivofrekvenciák viszonylag kevés számát, a hatalmas előfizetői forgalmat csak úgy lehet kiszolgálni, hogy a rendelkezésre álló vivofrekvenciák többszörösen felhasználásra kerülnek. Ugyanis ha két ugyanazon frekvenciát használó rádiós csatorna egymástól földrajzilag kello távolságban helyezkedik el, nem lép fel közöttük számottevő zavaró hatás, interferencia.

A probléma szemléltetésére, definiáljuk az úgy nevezett C/I hányadost (C = Carrier - azaz vivojét, I: ugyanolyan frekvenciájú Interferenciajel). A következő ábrán a vízszintes tengelyen a két antenna közti távolságot, a függőleges tengelyeken pedig az C hasznos vivo és egy másik antenna által sugárzott ugyanilyen frekvenciájú interferenciát okozó jel szintjét ábrázoljuk. Egy adott vizsgált pontban az ábra alapján értelmezzük a C/I hányadost, mely az antennák távolságán kívül függ a földfelület egyenetlenségeiből adódó hatásoktól és két jel más tárgyról, épületekről történő visszaverődési jelenségeitől is.

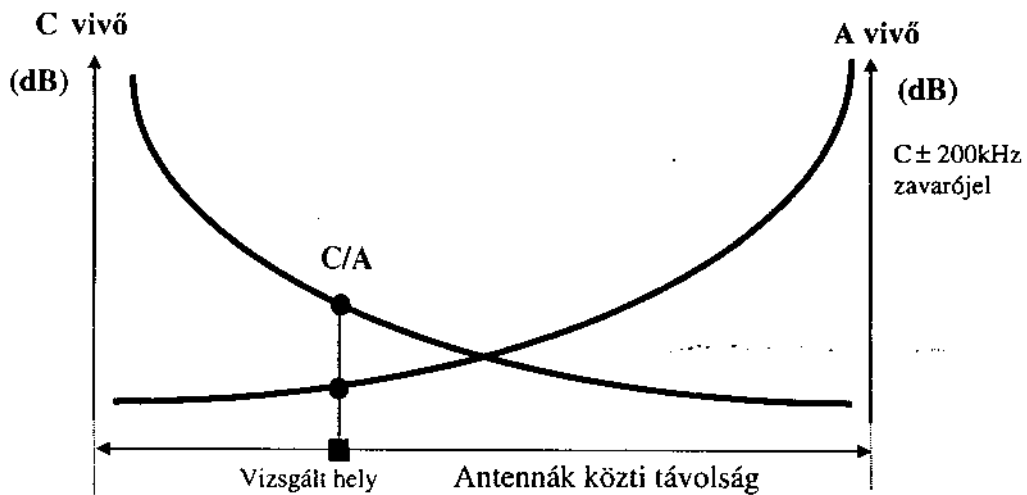


3.4. ábra: C/I értelmezése

A fenti értelmezésből adódóan, a mobil hálózat kialakításánál arra kell törekedni, hogy a hálózat minden pontján a C/I hányados a lehető legnagyobb legyen, azaz az azonos frekvenciákon sugárzó bázisantennák lehetőség szerint megfelelően távol helyezkedjenek el egymástól. Ez a feltétel gyakorlatilag kizárja annak a lehetőségét, hogy egymás melletti cellákban azonos vivofrekvenciák működjenek.

Szigorúbb követelményeket támaszt a rendszer az olyan cellastruktúra kialakításánál, ahol a szomszédos cellákban még egymás melletti vivók (fi és $f \pm 200\text{kHz}$) használatát sem engedik meg a lehetséges átlapolódások miatt.

Ennek vizsgálatára definiáljuk a C/A hányadost (C = Carrier - hasznos vivo, A = adjacent - szomszédos vivo). Az előző ábrához hasonlóan ábrázoltuk a C/A értelmezését.



3.5. ábra: C/A értelmezése

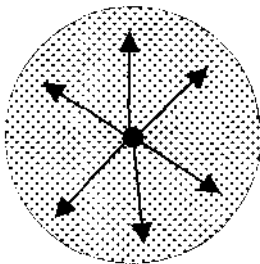
3.3. Cellatípusok, cellaelrendezések

A cellák kialakításánál, a cellaelrendezés tervezésénél a következő kiinduló szempontokat kell figyelembe venni:

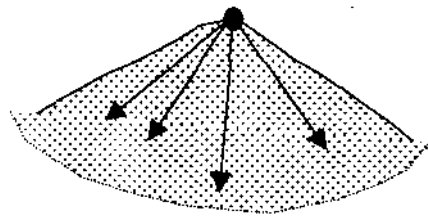
- a mobil készülékek földrajzi eloszlását,
- az előfizetők közlekedési szokásait,
- az átvitel minőségét,
- a szolgáltatás földrajzi kiterjedését,
- a domborzati viszonyokat.

A fenti szempontok alapján elkészíthető a hálózat ún. nominális terve, mely alapjául szolgál a bázisállomások telepítéséhez, valamint a frekvencia-kiosztás megtervezéséhez. A cella alakját és nagyságát az antenna típusa és teljesítménye nagymértékben meghatározza. A cellás hálózatban kétféle antennát használnak: az egyik körsugárzó, mely egyenletesen sugároz 360° fokos szögben, a másik szektorsugárzó, amely általában 120° -os szektort lát el.

A nominális terv elkészítésére szükség van egy elméleti cellamodellre, amit a tervezés alapjának tekinthetünk.



a.) Körsugárzó antenna



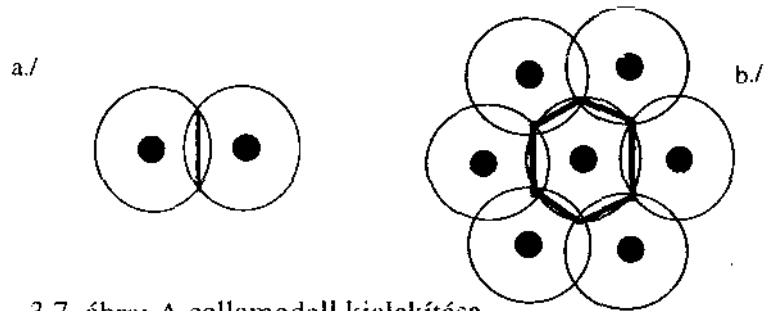
b.) 120 fokos szektorsugárzó

3.6. ábra: Leggyakoribb antenna alkalmazások

A cellamodell meghatározásakor a következő alapfeltételeket vesszük figyelembe.

- Körsugárzó antennát használunk, egyenletes teljesítménysugárzással
- A besugárzott területen az előfizetők tartózkodási helyének eloszlása homogén
- A forgalom egyenletes eloszlású

A fenti feltételeknek megfelelő két teljesen egyforma körsugárzó antennával ellátott cellát helyezünk egymás mellé a 3.7/a. ábrán látható módon. Könnyen belátható, hogy a két antennától egyforma távolságú helyek mértani pontjai a két kör érintőpontjaiba húzott egyenes szakaszon vannak. Ezekben a pontokban azonos térerosszúságot mérünk a két antenna felől. Ha a műveletet még 5-ször megismétljük a b/. ábrán látható elrendezést kapjuk, melyből kirajzolódik a középso cellába rajzolható szabályos hatszög idom. A rádióhálózat tervezésénél ilyen módon a cellákat lényegében hatszögekkel (hexagon) modellezhetjük. Természetesen a valóságban a cellák alakját nagymértékben befolyásolják az adott terület domborzati viszonyai, a földfelület egyenetlenségei.



3.7. ábra: A cellamodell kialakítása

Az előző fejezetben ismertetett C/I arány meghatározza a kialakítandó cellaelrendezés frekvenciacsoportjainak számát, melyet F-el jelölünk. Ha az összes felhasználható vivofrekvencia N, és F csatornacsoportot alakítunk ki, minden csoport N/F frekvenciát tartalmaz. Egy cellában egy frekvenciacsoportot alkalmazunk, és a cellákat úgy helyezzük egymás mellé, hogy lehetőleg a C/A hányados a lehető legjobb legyen (azaz a egymás melletti vivók között se lehessen átlapolódás). Ha csökkentjük a csatornacsoportok számát, ez azt jelenti, hogy egy cella nagyobb forgalmat képes ellátni, viszont kedvezőtlenül alakulhat a C/I és C/A arány.

A cellaelrendezés és frekvencia-kiosztás nagyon sokféle megvalósítását lehet a gyakorlatban látni. A teljesség igénye nélkül három példát mutatunk, amelyet az Ericsson ajánl. A három példa a 7/21, 4/12 és 3/9 frekvencia-elrendezési minta. Mindegyik elrendezésben a következőket mondhatjuk;

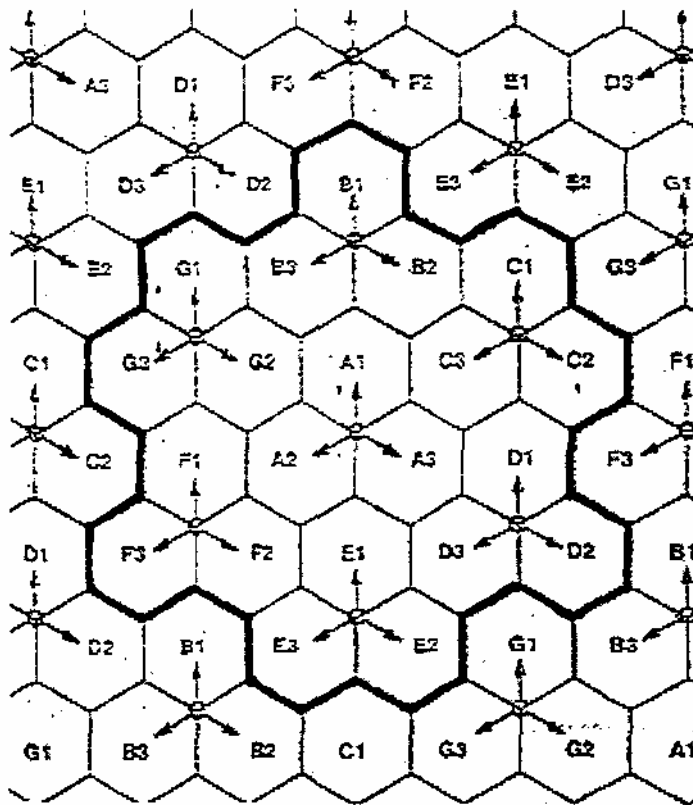
- A cellacsúcsokban elhelyezkedő antennák 120°-os szögben sugározzák be a cellákat.
- Minden cella két 60°-os adóantennát, és két 60°-os osztott (diverzitív) vevoantennát használ.
- A cellákat hatszögekkel közelítjük.

Feltételezzük továbbá, hogy a cellákon belül a forgalom eloszlása homogén. A modellek nevében az első szám az ún. site-ok (telep) számát jelenti, esetünkben például egy tornyot, amire három szektorantenna van szerelve. A második szám pedig ennek a háromszorosa, azaz az antennák és így a cellák száma. Minden antenna egy frekvenciacsoportot lát el.

Azon cellák csoportját, melyekben az összes rendelkezésre álló frekvenciát felhasználjuk, de csak egyszer, cluster-nek (köteg) nevezzük. Ha az ellátandó területet úgy fedjük le, hogy a kialakított clustereket lényegében megsokszorozzuk, azaz egymás mellé pakolgatjuk, biztosíthatók a kívánt feltételek.

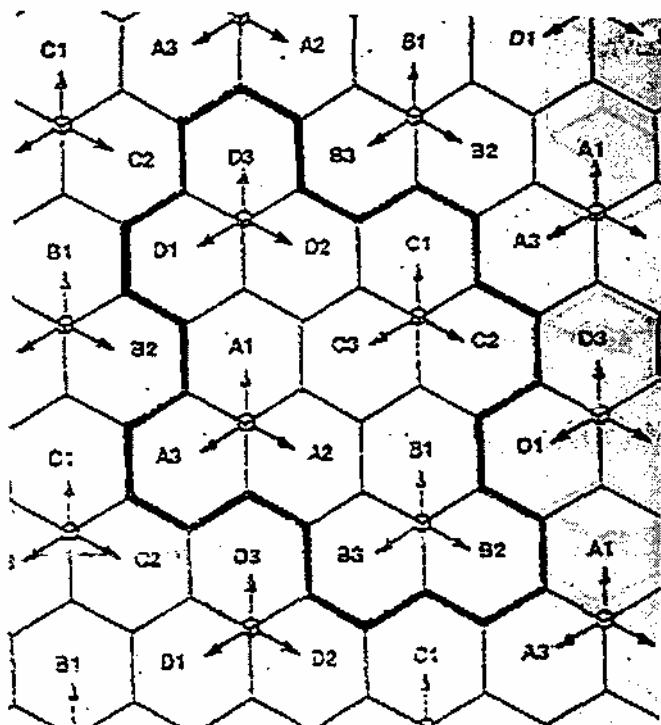
Ha a cella rádiusza R, akkor ez pontosan egyharmada az antennák közötti távolságnak, ha szektor-cellás elrendezést használunk. A szomszédos frekvenciákat használó állomások távolságának meghatározása is fontos a tervezésnél, a három esetben a következőképpen adódnak.

$$\begin{array}{ll}
 7/21 & d = 63^{1/2} \cdot R = 7,9R \\
 4/12 & d = 6 \cdot R \\
 3/9 & d = 3 \cdot 3^{1/2} \cdot R = 5,2R
 \end{array}$$



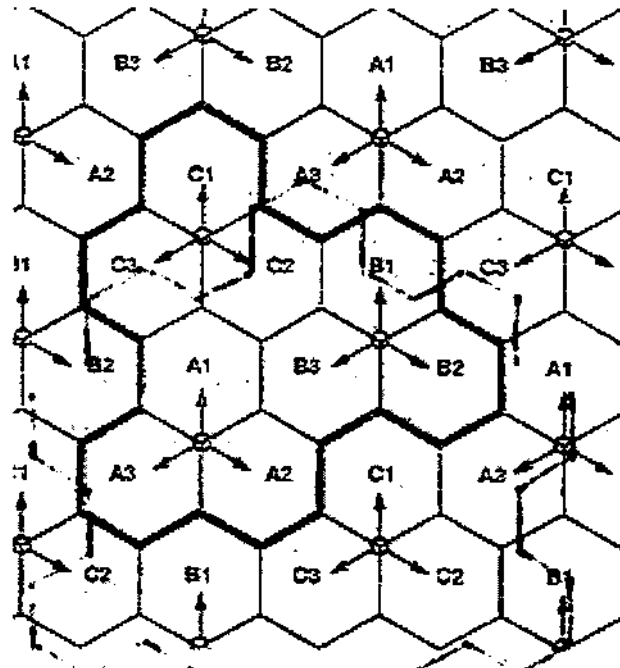
nagyvaros

3.8. ábra: 7/21 cluster cellamintája



kisvaros

3.9. ábra 4/12 cluster cellamintája



3.10. ábra 3/9 culster cellamintája

A három kialakítást a 3.8., 3.9. és 3.10. ábrán szemlélhetjük. A legkönnyebben a 4/12 esetben láthatjuk be d értékét, hiszen ez az ábráról egyszerűen leolvasható. A másik két esetben kissé komolyabb geometriai problémával állunk szemben, de ennek belátását az olvasóra bízunk.

Példaként nézzük meg a frekvencia-kiosztást a 3/9-es elrendezés esetén, ha a felhasználható frekvenciák száma, $N=24$

Frekvencia csoportok	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
Vivosorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24			

A frekvenciák kiosztása, a csatornacsoporthoz kialakítása, a cellák megtervezése és az antennák telepítése a gyakorlatban sokkal bonyolultabb feladat az itt vázolt elméleti megvalósításokkal szemben. A hálózat megtervezését ma már nagy bonyolultságú szoftverekkel végzik, azonban a tapasztalatok azt mutatják, hogy a kivitelezés során még számos korrekciót igényel az eredeti terv.

A cellák méretét a területen várható forgalom és a rendelkezésre álló csatornák száma határozza meg. Ha meglévő cella csatornakapacitása nem elegendő a forgalom kielégítésére, a cella területének felosztásával és újabb (kisebb) cella kijelölésével megoldható a probléma. A cellák csoportosítása nagyságuk szerint:

-Nagy cellák: Nagy kiterjedésű és kis forgalmú vidéki területeken használják, ahol a domborzati viszonyok is lehetővé teszik a nagy távolságú besugárzást. Kisebb völgyek, takarásban lévő falvak besugárzására repeater-eket (átjátszó-adókat) használnak. A cella sugara 10-30 km. és általában körsugárzó antennával látják el a területet.

-Közepes méretű cellák: Közepes méretű forgalom esetén (általában nagyvárosi agglomerációkban) alkalmazott cellák, szektorsugárzó antennákkal. A cellasugár 1-5 km.

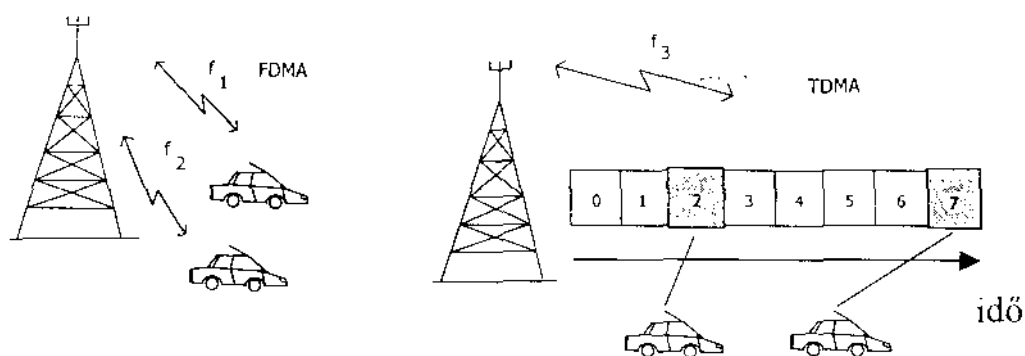
-Kis cellák: Városokban és nagy forgalomigényű területeken -(pl. forgalmas autópályák mentén) nem lehetséges nagy teljesítményű adókkal biztosítani a lefedést. Ennek két fő oka van, az egyik a forgalom nagysága, a másik a geográfia inhomogenitása. Kiscellás környezetben megszorodnak az interferencia problémák, a tervezési paraméterek betartása egyre kritikusabbá válik, az ismert hullámterjedési modellek szinte használhatatlanná válnak. Ezért a tervezést megelőzően a helyi viszonyok alapos megismerésére van szükség, különös tekintettel az épületek, építmények elhelyezkedésére, hiszen a rádióhullámok terjedésének várható módját (a reflexiók, árnyékos területek meghatározását) csak így lehet meghatározni.

A cellaméret 300-1000 méter. (Vegyünk példának a budapesti hálózatot. Kevesebb, mint 600 km² területen él az ország lakosságának kb. egyötöde. A gazdasági és üzleti élet az utóbbi években még inkább Budapest centrálisává vált, és hihetetlen ütemben nőtt a mobil telefont használók száma. A fővárosban eredetileg kialakított mobil hálózatok már régen kinőtték lehetőségeiket, ezért csak folyamatos fejlesztésekkel tartható fenn a megnövekedett forgalom ellátása. A frekvencia újrafelhasználás 14-szeres, a cellaméret a belvárosban tipikusan 500-800 méter. A geográfia is nagyon összetett, hiszen Buda dombos, Pest sík terület és a várost kettészelő Duna 'forgalma' szinte zérus, a hidakat leszámítva. A raster szerinti állomás-elrendezést szinte képtelenség ilyen viszonyok mellett elképzelni.)

-Mikrocellák: Mikrocellás környezetnek számít a vasúti pályaudvarok, repülőterek, nagyobb üzletközpontok, telephelyek területe. Ezek kb. 300 m-nél kisebb cellaméretet jelentenek.

3.4. Az FDMA/TDMA technika megvalósítása

Az analóg rádió rendszerekben az FDMA (Frequency Division Multiple Access) ún. frekvenciaosztásos többszörös hozzáférést alkalmaznak. Ez azt jelenti, hogy minden csatornának egy-egy külön vivofrekvencia van kijelölve. Ennek a módszernek az a hátránya, hogy egyszerre csak egy előfizető használhat egy adott frekvenciát. A rendszerben a felhasználható vivofrekvenciák adottak, így egy bizonyos nagyságú forgalmat csak újabb cella kialakításával lehet kielégíteni.



3.11. ábra: Az FDMA és TDMA összehasonlítása

A vivofrekvenciák korlátozott száma és a forgalom rohamos növekedése szükségessé tette az időosztásos technika bevezetését. A TDMA (Time Division Multiple Access) a vezetékes átviteli rendszerekben is régóta használt technika. (Gondoljunk a PCM átvitelre.)

A GSM-ben az FDMA/TDMA kombinált rendszert alkalmazzák a rádiós átvitelben. Egyetlen vivofrekvenciát nyolc előfizető használ időosztásban. Az átvitt adatok ciklikus

formába vannak szervezve, az átvitel szempontjából a legkisebb egység a TDMA keret, ami 4,616 ms hosszú és nyolc, időben egyenlő részre van felosztva. Ezeket a részeket idorészeknek (TS: timeslot) nevezzük, az idorész hossza 577ps. Minden előfizető, a keret egy idorészt használ. Tehát a frekvenciát az idő 1/8 részében foglalja le 577us időre. Így a tisztán FDMA szervezéssel szemben, azonos számú rendelkezésre álló vivofrekvencia esetén a TDMA rendszerben nyolcszorosa a frekvencia-kihasználása. (Léteznek ennél több időosztásos csatornákat használó rendszerek is. A DECT vivofrekvenciái 24 idorészt tartalmaznak. A 24 idorészből 12 az adás, 12 pedig a vétel céljait szolgálja, azaz egy vivofrekvencián 12 átviteli csatornákat alakítottak ki. A duplexálás ebben az esetben ugyanazon a vivon valósul meg ellentétben a GSM-el.) Természetesen a TDMA keretek felépítéséhez bonyolultabb áramkörök szükségesek, viszont nagyobb az adatvédelmi biztonság is.

A GSM 900 rendszer 124 duplex vivofrekvenciát alkalmaz a már említett frekvenciasávban. Vivonként 8 időosztásos csatornákat tekintve, ez összesen $124 \times 8 = 992$ csatornát jelent. A GSM 1800-ban a több vivo miatt lényegesen több csatorna szolgáltatható ki.

3.5. A rádiós átvitel jellemzői

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

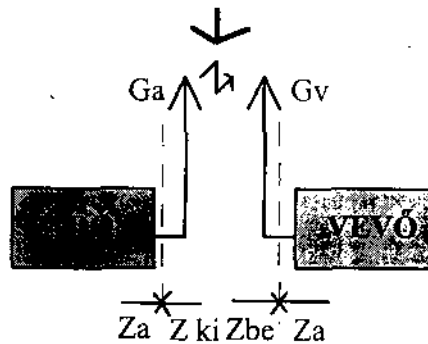
A jeleket a rádiós csatornán történő továbbítás során különféle káros hatások, károsodások érik:

- az áramköri zajok és az adó, ü. a vevő oldali áramköri torzítások, intermodulációk;
- a rádiós csatorna hullám terjedési tulajdonságai miatt fellépő jelingadozási jelenségek (fading);
- a vevőantenna helyén a hasznos jellel együtt a vevőbejövő atmoszferikus és ipari eredetű (man-made) zajok;
- a különféle rádiószolgálatok adóiból a hasznos rádiófrekvenciás jellel együtt a vevőbejövő nemkívánatos jelek képviselte interferenciái is 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 fázis eloszlását kell figyelembe venni.

Az adóegység végfokozata meghatározott kimenő impedanciával rendelkezik, amelyet az alkalmazott antennának a lehető legjobb teljesítmény-átadást eredményező módon kell lezárni. Mivel a vevőegység bemenő fokozata szintén adott bemenő impedanciával rendelkezik, a vételi antennát, minimális teljesítmény reflexiót biztosító impedanciával érdemes lezárni. Az adóegységet tehát úgy kell méretezni, hogy kisugárzásra kerülő jel teljesítmény minél jobb hatásfokkal legyen kisugározva az antennát körülvevő térbe. A másik fontos tényező, hogy a vevőoldali antenna, a vétel helyén fellépő elektromágneses energiát minél jobb hatásfokkal alakítsa át villamos nagyfrekvenciás teljesítménnyé.

Időben változó hullámterjedési közeg (szabad tér stb.)



3.12. ábra: Adó és vevő egység jellemzői

Az adó- és a vevő-antenna között található hullámterjedési közeg (szabad tér) egy négyfázissal modellezhető (3.12. ábra). 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 segítségével. Ha a hullám az adóantenna és a vevőantenna közötti egyenes mentén terjed, akkor direkt vagy közvetlen hullámról beszélhetünk. Ez lényegében a térhullám egyik speciális esete. Direkt hullám tisztán önmagában ritkán lép fel, inkább csak valamilyen reflektált, vagy esetleg a térből visszahajló térhullám kíséretében.

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

A felületi hullám, tekintve, hogy ennek terjedése a föld fizikai, villamos tulajdonságaival van összefüggésben, viszonylag stabil, és időben gyakorlatilag állandó. Az eddigiekben említett rádióhullám típusok közül valamely vételi ponton, több is jelen lehet és ez interferencia zavarokat okoz. Az elmondottak következtében a rádiótelefon technika szempontjából fontos a közvetlen hullámok, valamint a visszavert hullámok, továbbá ezek eredőjeként előálló hullámok figyelembe vétele.

3.5.1. A path loss

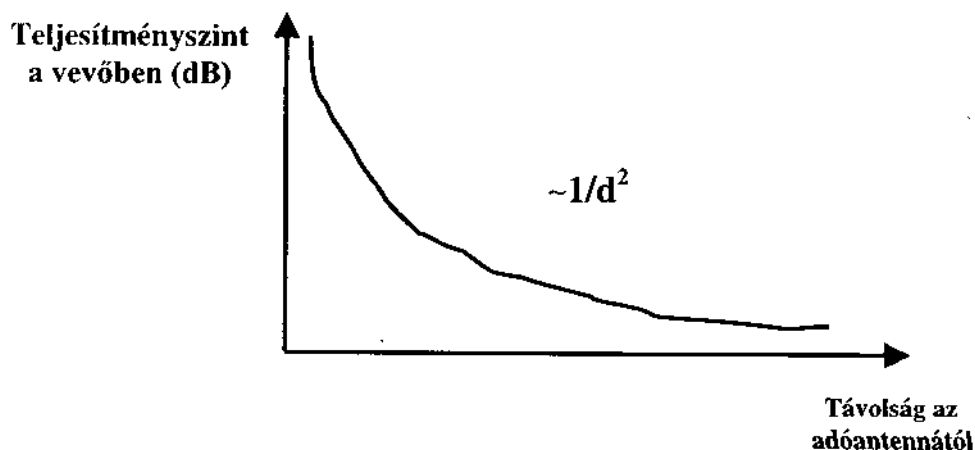
A path loss kifejezés kapcsolatvesztésnek fordítható, és abban az esetben történhet meg, amikor a vétel helyén a hasznos jel szintje egyre kisebbé válik, a csökkenés nagysága pedig arányos a mobil készülék és a bázisállomás közötti távolsággal.

Tehát szabad terjedéses esetben azt mondhatjuk, hogy egy adott vevoantennában, a vételi jel Teljesítményének a nagysága fordítottan arányos az adó- és vevo-antenna közötti távolság (d) négyzetével. Továbbá a vételi teljesítmény szintén fordítottan arányos az adási frekvencia (f) négyzetével (3.13. ábra). Ezek az arányosságok egy távolságfüggő teljesítmény veszteséget (s) eredményeznek:

$$L_s = d^2 f^2$$

Ez az egyszerű összefüggés csak a földi mobil rádiós 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 fenn említett kapcsolatvesztés gyakorlatilag alig fordul 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.



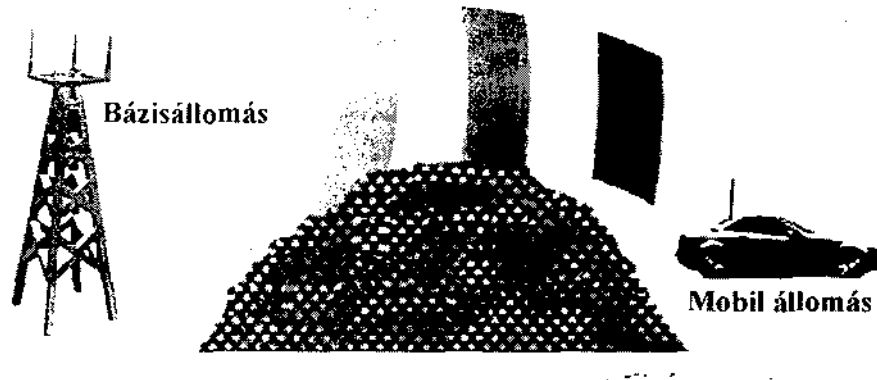
3.13. ábra: A vételi teljesítményszint változása a vevőben

3.5.2. Fading jelenségek

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. Ugyancsak gondot jelentenek a földfelszín egyenetlenségeiből adódó árnyékolási és visszaverődési effektusok is. A elozokból következően a vétel helyén a térerősség az időben változik, amely a vételi jelben fading-et, elhalkulást eredményez. A vétel helyén a térerősség-változás statisztikai jellemzőit térerősség eloszlásokkal lehet megadni. A tiszta interferencia fading {visszaverődések miatt} Rayleigh, a csillapítás fading (árnyékolás miatt) lognormál eloszlású.

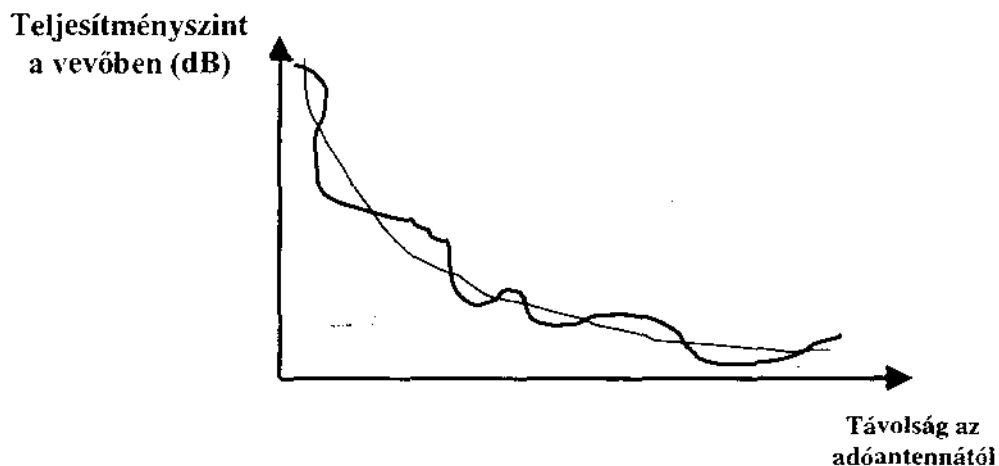
A takarásos fading

A takarásos fading-t más néven lognormál fading-nek is hívják (3.14. ábra). Ezt a jelenséget a mesterséges és természetes fizikai akadályok árnyékolási hatásai okozzák és különösen sűrűn lakott vagy hegyvidéki területeken okoz problémát, amikor a vétel helye takarásban van a BTS által sugárzott rádiós jelek elől. Ha a jel eloszlásfüggvényét a logaritmikus függvényre normalizáljuk, egy normál eloszlású függvényt kapunk (ezért lognormál fading). Ha az árnyékolás miatt csökken a vevőben a jelteljesítmény a vevő nagyobb érzékenységre „kapcsol”, az adó pedig nagyobb teljesítménnyel sugároz, így részben megakadályozható a fading miatti kapcsolatvesztés.



3.14. ábra: Takarásos vagy log-normál fading

Ezt a megoldhatást adaptív teljesítmény-szabályozásnak hívják, ami azt jelenti, hogy a BTS és az MS adási teljesítményét változtatják attól függően, hogy milyen a jel erőssége. A változtatás nagyságát jelerősség-mérési eredmények alapján határozzák meg.



3.15. ábra: A jel ingadozása a takarásos fading miatt

Rayleigh fadingek

A Rayleigh fading-et a többutas terjedés okozza. Ez azt jelenti, hogy a vevőantennába érkező jel az eredetileg elküldött jelek vektorösszege. A kisugárzott jel ugyanis a terjedés során több tárgyról, épülettől verődik vissza, így a jelek 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, amelyek reflektáló felületként viselkednek. A nagyvárosi környezetben sokszor nincsen egyenes út a rádióhullámok terjedésére, így olyan bázisállomások is elérhetők, amelyekre nincs rálátás és a vétel sok esetben teljesen a visszaverődésekre támaszkodhat (3.16. ábra).

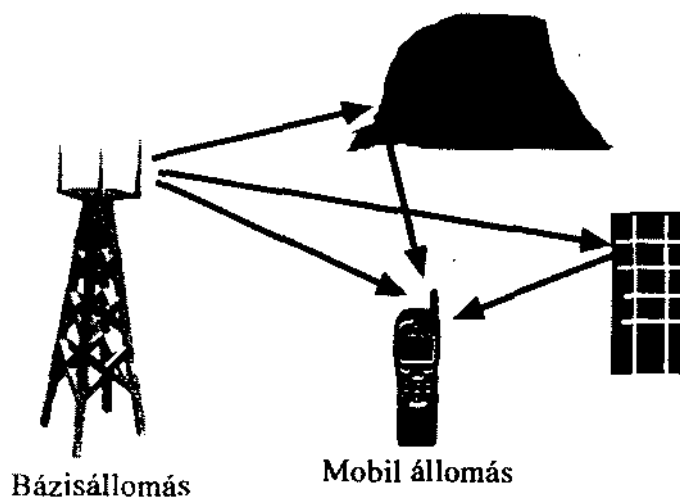
A visszaverődési különbségek alapján két Rayleigh fadinget lehet definiálni:

- a.) Flat fading
- b.) Szelektív fading

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

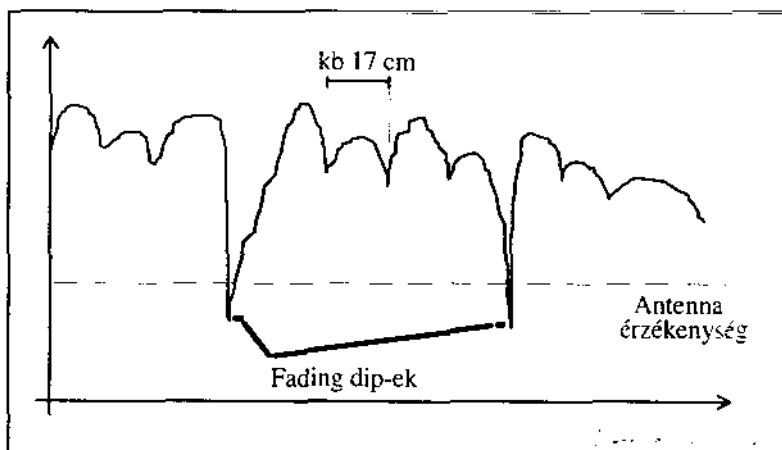
a.) Flat fading

A flat fading-et a közeli tárgyakról visszaverődött jelek vektoriális összege okozza azaz a vevőbe érkező hullámok egy bitperióduson belül összegződnek. A legrosszabb esetben két



3.16. ábra: A többutas terjedés jelensége

közel azonos nagyságú hullámok pontosan ellentétes fázisban, azaz $\pi/2$ fázistolásban érkeznek a vevőbe, és kioltják egymást. Természetesen kedvezőbb az az eset, ha a fázisazonosság miatt nem kioltás, hanem erősítés következik be. Tehát a vevőben egy állandó jelteljesítmény-ingadozást lehet tapasztalni, amit a 3.17. ábrán szemléltetünk. Azt a helyet, ahol a kioltás bekövetkezik fading völgynek (fading dip) nevezzük. Ha a vett jel nagysága a vevő érzékenysége alá süllyed információvesztés fordulhat elő.



3.17. ábra: Jelzajszórás a vevőhöz a flat fading hatására

A fading völgyek előfordulásának gyakorisága függ az alkalmazott frekvenciától és így a hullámhossztól is. Jó közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a két fading völgy közötti távolság körülbelül egy fél hullámhossz, azaz a 900 MHz-es sávban ez a távolság kb. 17 cm-nek felel meg. Az 1800 MHz-es sávban ez a távolság még kisebb, kb. fele az említett értéknek.

A jel szintje általában pillanatról pillanatra változik, de jó közelítéssel egy középértékkel lehet jellemezni, ahol a fading völgyek szintje tipikusan sokkal kisebb a középértéknél. A vevőantenna érzékenységét a lehetőségekhez képest úgy kell meghatározni, hogy néhány decibellel a lehetséges fading völgyek szintje alatt legyen, így nem fordulhat elő kapcsolatvesztés.

A frekvencia ugrálás

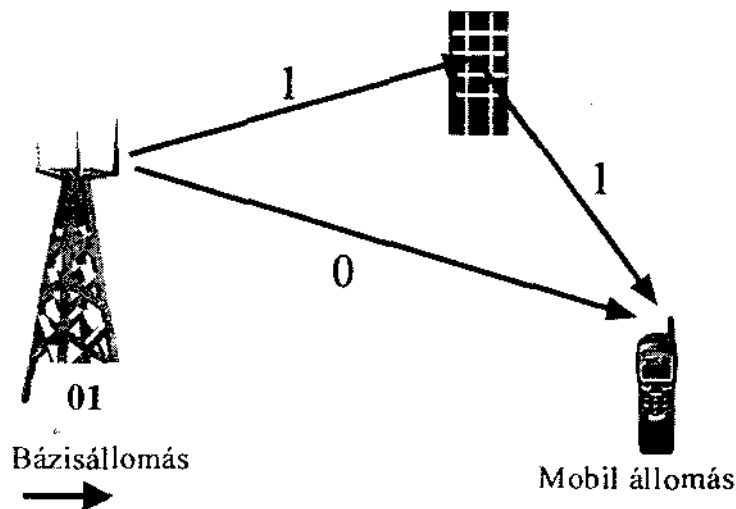
A flat fading hatásának csökkentésére érdekes megoldást találtak ki. A GSM hálózatok üzemeltetésének kezdeti időszakában számos esetben fordult elő az az eset, hogy beszélgetés közben a mobiltelefon éppen egy fading völgybe került, azaz a vételi jel színje kritikusan lecsökkent, és emiatt eloszor szakadozott lett a vétel, majd megszakad: a kapcsolat. Ez a probléma nagyvárosi környezetben többször is tapasztalható volt, ezen valami megoldást kellett találni a probléma áthidalására. Ez az eljárás a „frekvencia hopping” vagy más néven frekvenciaugrálás.

A frekvenciaugrálás azon az elven működik, hogy a rádiós kapcsolat alatt változik a vivofrekvencia, azaz információs csomagok előre szervezett ciklikusság szerint váltogatják a hordozó vivóket. Ilyenkor az említett fading völgyek a frekvencia, és ebből adódóan a hullámhossz változása miatt egymáshoz képest eltolódnak és „szétkenik” a vett jel spektrumát. Mivel egy fading völgy az ugrálás nagy sebessége miatt csak relatíve kis ideig jelentkezik, a jel minőségi mutatóiban ez nem okoz számottevő romlást, és nincs idő arra, hogy annyira leromoljanak a mutatók, hogy a kapcsolat megszakadjon. A frekvenciák váltogatása egy előre megadott algoritmus alapján történik, mind a mobilkészülékben mind pedig a BTS vevő- illetve adóegységében. Az ugrálás szekvenciáját a rendszer felől a Bázisállomás vezérlo (BSC) definiálja, és ezt elküldi a rádiós kapcsolatban résztvevőknek. Ezzel a módszerrel növelhető a rádiós átvitel hatékonysága és a rádiós csatornákon alkalmazott kódolási és bitkeverési eljárások eredményessége. Az ugráláshoz legalább 4 vivofrekvenciát kell használni ahhoz, hogy az alkalmazott módszer eredménye már értékelhető legyen. A maximális váltogatási sebesség 217 ugrás/sec.

b.) Szelektív fading

A szelektív fading-nek vagy más néven idő diszperzióknak szintén a visszaverődés az oka, de ellentétben a fiat fading-el, a visszavert jel egy a vevőantennától távoli tárgyról verődik vissza, azaz a késleltetési idő egy bitidőnél nagyobb. Mivel a bitsebesség a GSM-ben 270 Kbit/sec, a két bit között eltelt idő 3,7 (is. Ez az idő a jelterjedés szempontjából 1,1 km-nek felel meg. Tehát ha a jel, egy a mobil állomás mögött 1 km távolságban lévő tárgyról verődik vissza, 2 km-el több utat tesz meg mint az egyenes úton terjedő.

Képzeljük el azt az esetet, amikor az adóból jelen példában (3.18. ábra) a bázisállomás felől időben egymás után eloször egy „1” majd egy „0” szimbólum kerül elküldésre. A „1” két úton jut el a vevőbe, az egyik egy viszonylag verődésmentes átvitel során, a másik pedig nagy távolságot megtéve, visszaverődés után.



3.18. ábra: ISI a vevőben

A következő szimbólum, azaz az „0” is ugyanezeket az utakat járja be. Ha az „1” a visszaverődés következtében ugyanakkor ér a vevőbe mint az utána elküldött verődésmentes „0”, a két szimbólum zavarja egymást. Az idő diszperzió okozza az ún. ISI (Inter Symbol Interference) 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.

Az idő diszperzió problémája igen sok fejtörést okozott a szakembereknek. A megoldást a Viterbi kiegyenlítő és demodulátor jelenti.

3.5.3 A Viterbi-kiegyenlítő és demodulátor

Az igazi probléma az, hogy az adó által kisugárzott 3.96 mikroszekundumos bitidők a vevőhöz több úton jutnak el, és így több időpontban is érkeznek meg. Ebből a folyamatos, egymással átlapoló bitfolyamból kell megállapítani a vevőnek, hogy az adó valójában milyen információt szánt neki.

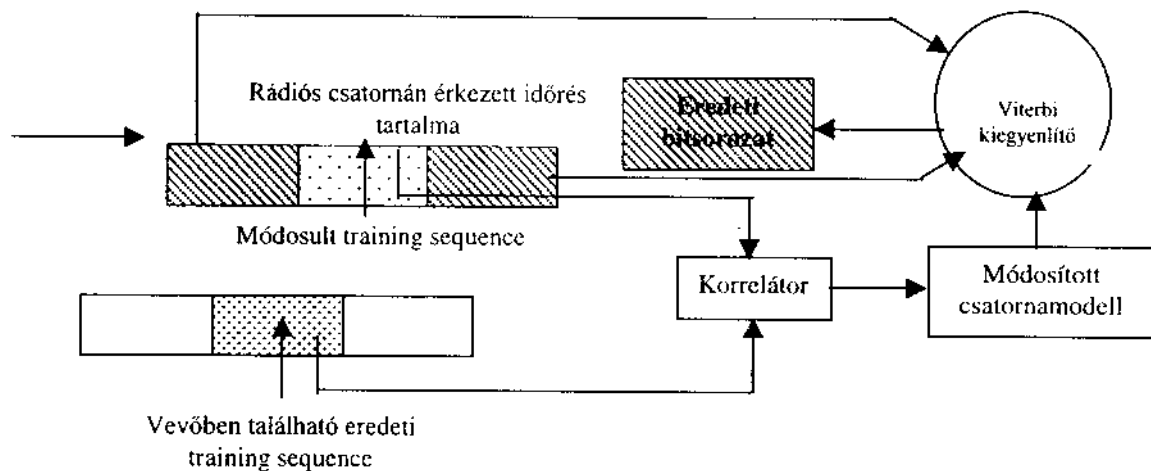
A GSM rendszerek csatornáinak és az ún. Viterbi-kiegyenlítés megértéséhez szükséges a rádiófrekvenciás átviteli rendszerek egyes jellemzőinek megértése. Itt leginkább az adó és a vevő közötti különböző utakra gondolunk. A különböző jellegű csatornák jellemzésére bonyolult matematikai apparátust szolgál alapul, így alkották meg az ún. csatorna-modellt,

amely elengedhetetlen az eredeti bitsorozat biztonságos visszaállításához. A csatornamodell azt a változást írja le, amely egy adott időtartamban jellemzi az átviteli út torzulási törvényszerűségét. Ez az időtartam az időres ideje, azaz 0,577 ms. Az átviteli utak modelljeit 6 vagy 12 pontos időfüggvénnyel jellemzik, melyek az egyes csatornák impulzus függvényre (Dirac-impulzus) adott válaszait adják. Minden csatornamodél 1 időalapja a GSM rendszerek legkisebb időtartama, a bitidő - ez 3,96 mikroszekundumot jelent. Négy csatornamodellt különböztetünk meg:

- c; Sík terület: 6 ponttal jellemzett, lineárisan csökkenő energiájú válasz-impulzusok. A legnagyobb időeltérés a bemeneti impulzussal szemben 0,5 mikroszekundum. Ez a legegyszerűbb, gyakorlatilag nem tapasztalható a Rayleigh-fading.
- d; Dombos vidék: az impulzusválasz energiájának nagy része 1 mikroszekundumon belül található, a maradék viszont a 15-20 mikroszekundum tartományban. A válaszfüggvényben itt már találunk olyan összetevőket, amelyek nem ugyanazt az utat teszik meg az adó és a vevő között. Ez már valós többutas modell,
- e.) Városi környezet: a vett jel teljes energiája 5 mikroszekundumon belül van. Ez a modell tükrözi legjobban a zörgős városi terepet,
- f.) Standard teszt válaszfüggvény: ezt a modellt a tervezők hozták létre, a Viterbi-kiegyenlítő eljárás tesztelésére. Hat. azonos energiájú válaszipulzust tartalmaz, egymástól 3,2 mikroszekundumra.

Mivel az információt zajos analóg csatornán vesszük át, a dekódér nem tudja egyértelműen eldönteni, hogy „0” vagy „1” érkezett-e. Ezért három biten jellemzik a vett adatot (ez a három bit a Rayleigh-fading eredményeként visszavert, időben késleltetett bit), attól függően, hogy a vizsgált bit-hármas milyen arányban tartalmaz 1-et és 0-t. Ez alapján a dekódér azt a karakterisztikát ismeri el, amelyikhez a vett éneket a legközelebb vannak.

A csatornamodell ismerete alapján a Viterbi-kiegyenlítő meg tudja határozni azt, hogy mennyiben változott meg az időres információtartamának közepén lévő 26 bites bitsorozat az ún. training sequence. E 26 bitből 16 szinkronizációs célokat szolgál, a két szélén maradó 5-5 bit a kiegyenlítő autókorrrelációs eljárását segíti. A vevőben található kiegyenlítő ismeri az ideális training sequence -ét. az autókorrrelációs algoritmus pedig meghatározza az eltérést, ezzel módosítja a mindenkor csatornamodellt (3.19. ábra). A módosított csatornamodell már alkalmazható az időresben vett összes többi bitre, például a kódolt beszédbitekire is.



3.19. ábra: A viterbi kiegyenlítő

Így már nagy biztonsággal visszanyerhető a küldött információ eredeti tartalma.

3.6. Logikai csatornák

Láttuk, hogy a GSM rádiós szakaszán az átvitel több vivofrekvencián és vivonként nyolc idorésben valósul meg. A fizikai csatornákat az alkalmazott vivók és idorések tekintetében definiáljuk. Az idorések többféle információt tartalmazhatnak, például kódolt beszédbiteket, jelzéseket, vagy a hálózatról érkező különböző információkat. Attól függően, hogy az idorés milyen jellegű információt tartalmaz, ún. logikai csatornáról beszélünk. A GSM-ben tízféle logikai csatornatípust definiáltak.

A logikai csatornák különböző fizikai csatornákon (idorésekben) kerülnek átvitelre, de az is előfordul, hogy egyes logikai csatornák ugyanabban az idorésben, de más időpontban kerülnek elküldésre. A logikai csatornák két kategóriába sorolhatók, ezek a következők:

- forgalmi csatornák (traffic channels)
- vezérlo vagy jelzés csatornák (control channels).

A logikai csatornákon történő információátvitel történhet pont-pont összeköttetésben, azaz a BTS és egy MS között, vagy pont - több pont, azaz a BTS és több MS között. Az átvitel iránya a csatorna funkciójától függően lehet uplink, downlink vagy kétirányú.

A továbbiakban ismertetjük az egyes logikai csatornák típusait és feladatait.

Traffic channel (TCH) Forgalmi csatorna

Ez a csatorna a kódolt előfizetői beszéd- vagy adatbiteket tartalmazza. A csatorna kétirányú, pont-pont összeköttetésben.

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

- Full-rate (TCH/F), azaz teljes sebességu, 13 kbit/s-os átviteli sebességgel
- Half-rate (TCH/H), azaz félsebességu, 6.5 kbit/s-os átviteli sebességgel

Ha az átvitel félsebességu, egy idorésben két beszélgetés is lebonyolítható, azaz a sáv átviteli kapacitása is kétszeresére nő. Ha adatátvitel történik, az átvitel típusától függően többféle átviteli sebességet lehet alkalmazni.

Control channels (CCH) Vezérlo vagy jelzés csatornák

A vezérlo/jelzés csatornák három csoportba oszthatók; musorszóró (broadcast), közös (common) a egyéni (dedicated) csatornákra.

Musorszóró csatornák Broadcast channels (BCH)

A broadcast csatornákat a bázisállomás folyamatosan sugározza a cella egy adott vivóján, tehát a cellában tartózkodó összes mobilkészülék veheti a csatornainformációkat. Ilyenek lehetnek például a celláról és a hálózatról szóló általános információk, amelyek elengedhetetlenül szükségesek a működéshez. Ezek egy részét a SÍM kártyán is eltárolja az MS (például a LAI-t, vagy a tiltott hálózatok azonosítóját), más részük szinkronizációs célokat szolgál. Az összeköttetés tehát downlink, és egy pont (BTS) és több pont (MS-k) között valósul meg.

•Frequency Correction Channel (FCCH) Frekvencia korrekciós csatorna

A csatorna olyan információt tartalmaz, amelynek segítségével az MS a BTS-hez tartozó ún. "broadcast" vivőre (BCCH vivo) tud hangolni. Minden cellában egy ilyen vivőt lehet találni, aminek 0. időrésében (TSO) történik például a mobil keresése, ha hívás érkezik felé. Az FCCH lényegében egy modulálatlan szinusz jel (csupa nulla), amelyre az MS bekapcsolás után vagy új cellába történő átlépéskor ráhangol.

•Synchronization Channel (SCH) Szinkronizációs csatorna

A csatorna elsődleges feladata a mobil készülék időbeli szinkronizálása, ezért egy hosszú szinkronizációs bitszekvenciát tartalmaz.

Az MS az SCH csatornán detektálja az ún. TDMA keretszámot (TDMA frame number), amely a titkosítási algoritmus egyik bemeneti paramétere. A TDMA keretek ugyanis egy bizonyos ciklusosság szerint sorszámozva vannak, és ez a ciklusosság kb. 3 és félóránként ismétlődik. Az SCH az aktuális BTS színkódját (BSIC) is tartalmazza.

•Broadcast Control Channel (BCCH)

"Musorszóró" jelzés csatorna

A BCCH-n a BTS általános információkat sugároz:

- Cellában használt frekvenciákat
- Frekvencia-ugrálás (frequency hopping) szekvenciáját
- A hálózat kódját
- SMS-eket
- Környező cellák információit (BSIC)
- Cellaazonosítót, és még sok egyebet.

Közös jelzéscsatornák

Common Control Channels (CCCH):

A közös vezérlő csatornák pont - pont közötti összeköttetésben realizálódnak. Ez azt jelenti, hogy a csatornákat a mobil készülékek közösen használják, azonban a jelzés információ csakis egy bizonyos MS-re vonatkozik

•Paging Channel (PCH) "Kereso" csatorna

A mobil keresésére, hívásértékesítésére használt csatorna (page, search). Irány: downlink

•Random Access CHannel (RACH) Véletlen elérési csatorna

Ha egy mobil előfizető hívást szeretne kezdeményezni, vagy egy PCH -n jövő hívásértékesítésre (page response) válaszolni a központot a RACH csatornán keresztül érheti el. A RACH-t minden olyan esetben használják a cellában lévő

mobilkészülékek, amikor a rendszerhez való hozzáférés a kapcsolat kezdeményezésének célja." Irány: uplink

•**Access Grant CHannel (AGCH) "Hozzáférést felkínáló" csatorna**

Egy hívás felépítéshez számos jelzésváltás történik az MS és a központ között. Ahhoz, hogy ne kelljen közös (common) csatornát lefoglalni ezen információk átvitelére, a mobil állomásnak egy ideiglenes jelzés csatornát oszt ki a központ (ez lesz az SDCCH csatorna). Az AGCH feladata pontosan ennek a csatornának a kijelölése. Irány: downlink

Dedicated Control CHannels (DCCH)
Dedikált Kontrol Csatornák

A dedikált (vagy egy mobil részére felajánlott) jelzéscsatornák a hívás felépítéséhez, a folyamatos beszéd és adatátvitel biztosításához (pl. handover esetén) szükséges jelzések átvitelét biztosítják. Ez azt jelenti, hogy az összeköttetések kétirányúak, valamint pont-pont közöttiek. Három típusát különböztetjük meg:

•**Stand-alone Dedicated Control CHannel (SDCCH) "Önálló dedikált" jelzés csatorna**

A hívás felépítéséhez szükséges jelzések (pl. jogosultsági vizsgálat, titkosítás, IMEI ellenőrzés, TCH kijelölése) továbbítására az AGCH minden érdekelt mobil részére kijelöl egy SDCCH csatornát. Egy cellában összesen 8 SDCCH található. Amikor a jelzésváltás befejeződött és egy a TCH-t a vezérlo lefoglalt a kommunikáció (beszéd vagy adat) céljára, a mobil készülék "elhagyja" SDCCH csatornát és a következő pillanatban ugyanazt az SDCCH-t már egy másik MS használhatja ugyanerre a célra.

•**Slow Associated Control CHannel (SACCH) "Lassú kisegítő" jelzés csatorna**

Az SACCH minden TCH-hoz és SDCCH-hoz kapcsolódik. Ezen a jelzéscsatornán a mobil készülék - az aktuális (serving) ill. a szomszédos cellákra vonatkozó - mérési értékeket folyamatosan küldi a központ felé. A mérések alapján eldönthető, hogy a kommunikáció közben szükség van-e a csatornaváltásra (handover) vagy sem. A mobil készülék kimeneti teljesítményének, valamint a cellán belül mozgó MS korrekt időzítésének (Time alignment) szabályozásához, beállításához szükséges információk is az SACCH csatornán érkeznek a rendszer felől.

•**Fast Associated Control CHannel (FACCH) "Gyors kisegítő" jelzéscsatorna**

Az SACCH funkcióhoz külön fizikai csatorna (idorés) rendelhető, az FACCH azonban csak indokolt esetben (pl sürgös handovernél) jelenik meg a TCH bitjei között. Az FACCH lényegében a TCH-n realizálódik abban az esetben, ha ezt a TCH idorésben bit jelzi (stealing flags). Ilyenkor a TCH-n történő titkosított beszédbitek helyett jelzések átvitele történik. A folyamat olyan gyors (max. 20 ms), hogy a beszéd minőségét ez nem zavarja.

3.7 A burst fogalma és típusai

Az elozo fezetekben láthattuk, hogy a GSM-ben két típusú csatorna van, logikai és fizikai. A fizikai csatorna egy vivofrekvencia egy idorése (timeslot) és egy TDMA keretben nyolc fizikai csatorna helyezkedik el. A fizikai csatornában lévo információ a logikai csatornatípustól függően különböző felépítésű bitscsoportokba van szervezve. Ezt nevezzük a burst-nek.

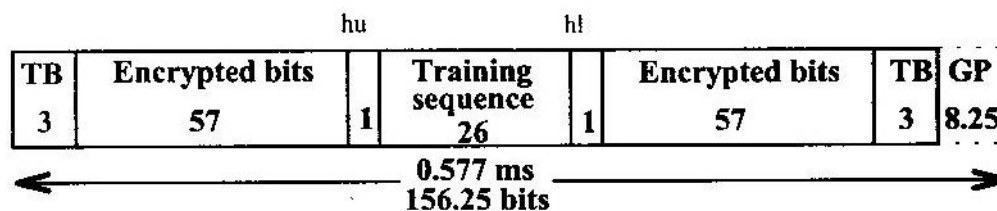
Az információ típusától függően öt különböző burst-öt használnak GSM logikai csatornái:

- Normál burst
- Access burst, (Hozzáférés burst)
- Frequency correction burst. (Frekvencia korrekciós burst)
- Synchronization burst, (Szinkronizációs burst)
- Dummy burst, ("Töltelék" burst)

A burst kialakítása, felépítése egyrészt elősegíti a benne foglalt információ hibavédelmét másrészt szinkronizációs feladatokat lát el.

Normál burst

Ez a burst tartalmazza a forgalmi (TCH) valamint a kontrol csatornák nagy részének információt. Kivételt képeznek az RACH, SCH és az FCCH csatornák, ezek információ-tartalmát más típusú burstok hordozzák. A normál burst felépítését a 3.20. ábrán lehet látni.



3.20. ábra: A normal burst tartalma

A burst hossza 0.577 ms, valóságos információtartalma 148 bit.

- A Tail bitek (TB) mindig nullákat tartalmaznak. Tail bitek azért vannak a burst elején és végén is, hogy megnöveljék a szélső biteken a demodulációs hatékonyságot. A Viterbi kiegyenlítőnek is szüksége van egy biztos kezdési és végpontra.

- A két titkosított bitscsoport (encrypted bits) tartalmazza a felhasználói adat vagy beszéd információt TCH esetén, vagy jelzéseket, egyéb információkat kontrol csatornák esetén.

- A hl és hu jelű bitek azt jelzik, hogy a burst tartalmaz-e FACCH jelzés információt vagy sem. A biteket más néven stealing flag-eknek, (lopásjelzés) is nevezik. Ez a név onnan ered, hogy a bitek azt mutatják meg, hogy a TCH logikai csatorna funkciót ebben a burstben a vezérlő FACCH jelzések (pl. handover esetén) részére "ellopta".

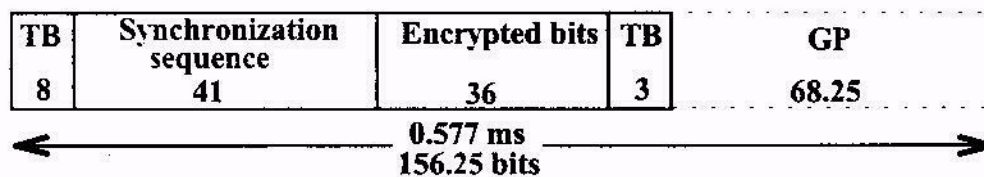
- A "training sequence" az az ismert bitminta, amit a Viterbi kiegyenlítő használ a csatorna-model létrehozására. A "training sequence" azért van a burst közepén, mert a csatorna terjedése állandóan változik és így jobb az esély arra, hogy ezt a 26 bites bitsorozatot is ugyanazok a hatások érik mint a titkosított (encrypted bits) információ biteket. Ha burst elején helyeznénk el a training sequence-t, elképzelhető, hogy a vételi

oldalon létrehozott csatorna model már nem lenne érvényes a burst végén lévő bitekre. A burst közepén való elhelyezésének viszont megvan az a hátránya, hogy a vevőben tárolni kell a burst első felét a demodulálás előtt.

•A Guard (or) Period (GP) lényegében egy üres (biteket nem tartalmazó) időintervallum. Azt a célt szolgálja, hogy a burst-ök a különböző terjedési utak miatt ne fedjék át egymást. Mivel egy frekvenciát nyolc készülék használ időosztásban, a készülékek időzítése a terjedési problémákat tekintetbe véve igen nehéz feladat. Uplink irányban ez a 8.25 bites (=30(j.s) guard periódus éppen elegendő az időbeni elcsúszások korrekciójára. Downlink irányban nincs szükség ekkora guard periódusra, de szimmetria okokból itt is megmarad a 8.25 bit idő a két burst kiadása között.

Access burst

Az access burst a RACH csatorna funkció információit tartalmazza. A rendszer elérése céljából az uplink irányban forgalmazó csatorna a mobil készülék számára biztosít véletlen hozzáférést (pl. híváskezdeményezés, regisztrációkérés stb). A burst végén egy igen hosszú, 68,25 bitidejű guard periódus található. Erre azért van szükség, mert első bejelentkezéskor vagy handover után a mobil készülék nem ismeri az időzítési paramétereket. Ahhoz, hogy a vételi oldalon a mobil készülék felől érkező 36 bites üzenet (Encrypted bits) demodulálható és feldolgozható legyen, a burst elején lévő Tail bitek számát nyolcra növelték. A 3.21. ábrán láthatjuk az access burst felépítését.



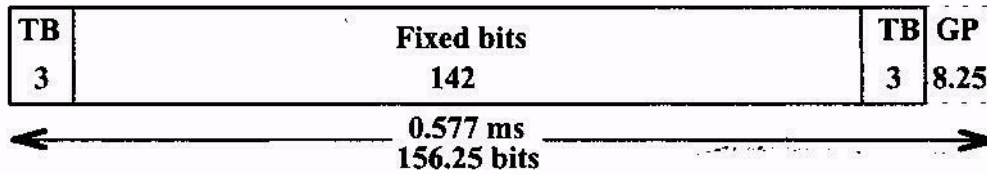
3.21. ábra: Access burst felépítése

Az első burst elküldése esetén a BTS demodulátorának meg kell találnia a burst elejét. Ez azonban meglehetősen nehéz feladat, mivel nem ismert a vételi szintet, és a pontos vételi időt. A Tail bitek után következő 41 bites szinkronizációs bitsorozat (Synchronization sequence) éppen az előzőleg felsorolt problémák megoldását segíti elő és ez a bitsorozat minden access burst-ben egyforma. Az access burst esetén az interferencia valószínűsége ugyan elég kicsi, de az itt alkalmazott bitsorozat bonyolultsága az interferencia lehetőségét még jobban lecsökkenti. A fel- és lefutási időzítések azonosak a normál burst-ével, a hasznos jel időtartama viszont rövidebb. Ez a rövidebb időtartam ellensúlyozza azt a hatást, hogy a túl távoli BTS-k a hosszú késleltetési idő miatt nem pontosan a megfelelő időzítéssel veszik a burst-öt. A terjedési késleltetés nagysága miatt a bázisállomástól kb. 35 km távolságban tartózkodó készüléktől érkező access burst már nagy valószínűséggel nem feldolgozható.

Frequency correction burst (Frekvencia korrekciós burst)

A burst tartalma a mobil készülék frekvenciájának szinkronizálására szolgál, az FCCH logikai csatorna funkciót valósítja meg. A teljes burst nullák sorozatából áll (kivéve a Guard period-ot). A 146 nullából az első és utolsó három bit a már ismert Tail bitek. A csatorna valójában egy modulálatlan szinuszos vivohullámnak felel meg, így a mobil készülék modem egysége pontosan a BCCH vivóra tud hangolni. (A BCCH vivo

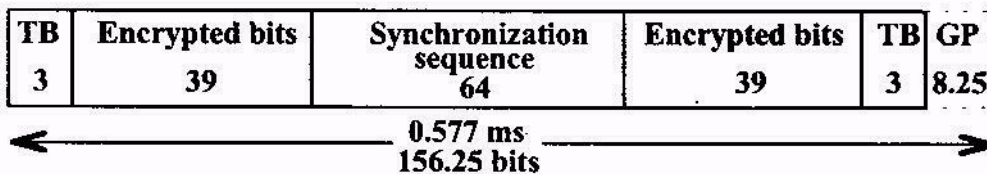
jelentőségét lásd később!) A TB és GP bitek ugyanazt a célt szolgálják, mint a normál burst esetében.



3.22. ábra: Frekvenciakorrekciós burst felépítése

Synchronization burst (Szinkronizációs burst)

Ez a burst a mobil állomások időbeni szinkronizálására szolgál (3.23 ábra), a burst-ök ismétlődését hívjuk SCH csatornának. A 64 bites Szinkronizációs bitsorozat (Synchronization sequence) a burst közepén helyezkedik el. A titkosított bitek (Encrypted bits) a TDMA keretszámot valamint a bázisállomás azonosító kódot (BSIC) tartalmazzák.



3.23. ábra: Szinkronizációs burst

A BSIC (Base Station Identity Code) a BTS-ek megkülönböztetését szolgálja (a télerőméréseknél és a handover eldöntésénél van szerepe).

A TDMA keretszám:

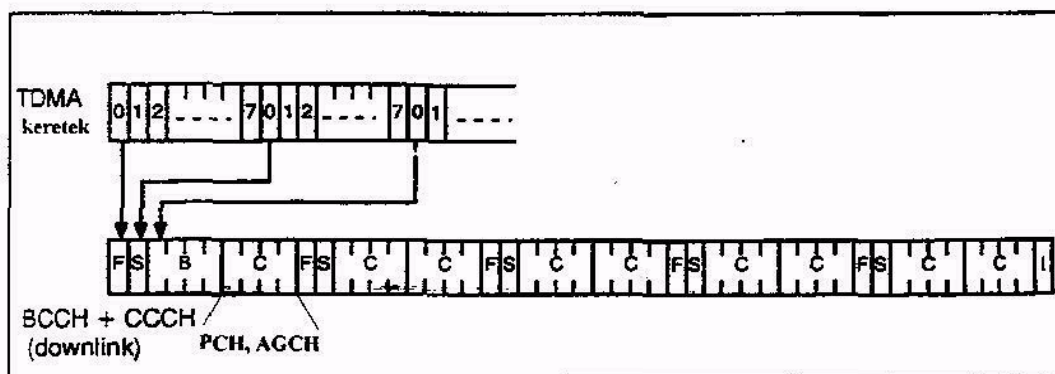
A lehallgatás elleni védelmet az előfizetői információk titkosításával oldja meg a GSM. A rádiós átvitel előtti titkosító algoritmus egyik bemeneti értéke a TDMA keretszám. A TDMA keretek számozása periodikusan ismétlődik, a periódusido kb. 3,5 óra, mely pontosan 2.715.648 különböző TDMA keretszámot jelent. A TDMA keretszám jelentőségéről a következő fejezetekben lesz még szó.

Dummy burst (Töltelék burst)

A burst nem tartalmaz hasznos információt, ezt a neve is mutatja. A későbbiekben látni fogunk olyan eseteket, amikor nincs hasznos információátvitel downlink irányban és a BTS az időzítések biztosítására "dummy burst"-el tölti ki a fizikai csatornákat. A burst formátuma megegyezik a normál burst-ével az "encrypted bitek" pedig egy ismert bitminta keverékekből állnak.

3.8. Logikai csatornák leképezése fizikai csatornákra

Ha egy BTS n duplex vivon működik, és mindegyik vivofrekvencia 8 idoréssal (TS) rendelkezik, összesen $n \times 8$ fizikai csatorna definiálható a cellában. Jelöljük a vivókat $c_0, c_1, \dots, c_n$ -el. Minden cellában egy vivo két idorését kontrol csatornák átvitelére foglalja le a rendszer. Ezt a vivót nevezzük BCCH vivonek.



3.24. ábra: BCCH és CCCH multiplexelése a 0. időrésben

A BCCH vivo 0. idoréseit a mobil készülék 51 db idorésből álló ún. multikeretben detektálja, amit a 3.24. ábrán szemléltetünk. Mivel az idorések vétele között egy TDMA keretido telik el a multikeret hossza 51 TDMA keretido. Ez struktúra ciklikusan ismétlődik. Az idorések jelentése a következő:

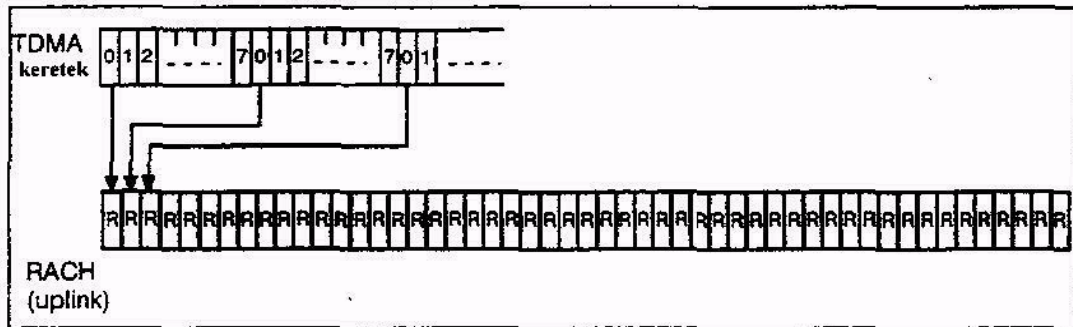
- F (FCCH): Ez egy frekvencia korrekciós burst. a mobil itt szinkronizál a BCCH vivore.
- S (SCH): Szinkronizációs burst, a mobil TDMA keret számot és BSIC-t olvas.
- B (BCCH): Normál burst, a mobil általános információkat olvas a celláról és a hálózatról.
- C (CCCH): Közös jelzéscsatorna, normál burst formátummal. Vagy PCH (keresés hívás esetén) vagy AGCH (SDCCH kijelölés) logikai csatorna funkció valósul meg.
- I (DDLE): Egy DDLE burst, formátuma dummy burst.

A BCCH vivo 0. idorésében, downlink irányban tehát időben eltolva a következő logikai csatornák információi detektálhatók: FCCH, SCH, BCCH. PCH. AGCH.

Bekapcsoláskor a mobil készülék vevoje eloször BCCH vivot keres. A vivot a frekvencia korrekciós burst (F) alapján ismeri fel. Mivel több BTS felol is érkezheth BCCH vivo, ezért ezeket eltárolja és a vett jel szintje alapján rangsorolja azokat. A legerosebb vivot kiválasztva, ráhúzza a vivore majd a 0. Idorésekben érkezett információt figyeli. Minden frekvencia korrekciós burst után Szinkronizációs burst érkezik, aminek segítségével időben is a rászinkronoz a jelfolyamra. Ugyanakkor itt olvassa a TDMA keretszámot is, amelyből meghatározza, hogy a multikeretben melyik fajta logikai csatorna következik. Ha a F és S burstök nem a multikeret elejére esnek, a vevonek még várnia kell bizonyos ideig, hogy a BCCH csatorna (B) információit detektálhassák és feldolgozhassák. A várakozási időt a TDMA keretszám alapján lehet meghatározni.

A BCCH vivo 0. idorése uplink irányban RACH logikai csatorna, formája access burst. Mivel minden cellában egy BCCH vivo található, ezen pedig egyetlen 0. idorés, ezért ezt az egy idorést minden mobil használhatja, amelyik a cellában tartózkodik és a rendszer felé bejelentkezést kér. Ha nem sikerül ebbe az egy idorésbe betuszkolódnia (kitúrva egy másik mobilt), többször próbálkozik az információ elküldésével. A bejelentkezést megkönnyíti a hosszú Guard periódus is. (Kisebblabdával nagyobb az esélyünk beletalálni egy lukba, mint ugyanabba a lukba egy nagyobb labdával!) Ha ez túlterhelés miatt nem lehetséges, egyszerűen nem lehet a cellában telefonálni (gondoljunk egy tuzijáték utáni áldatlan állapotokra). Ha

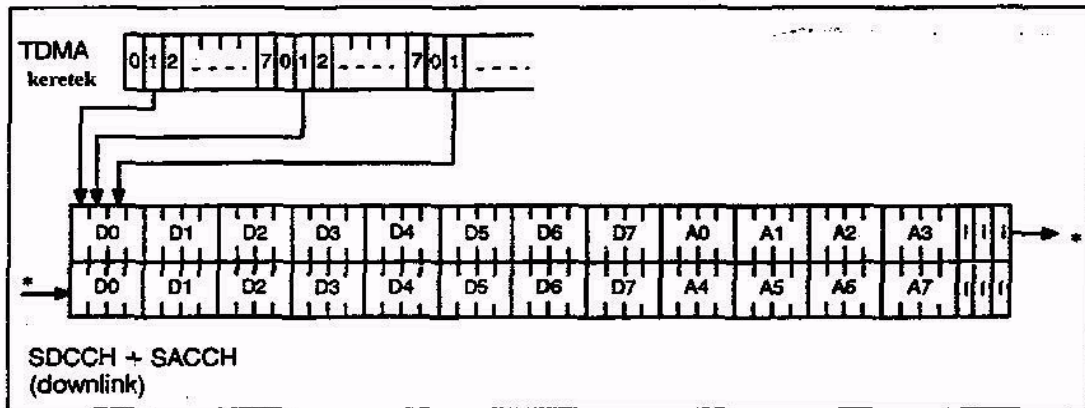
pedig végre sikerül a bejelentkezés a cella annyira túlterhelt, hogy nincs szabad TCH, és akkor e miatt nem sikerül a kapcsolatot felépíteni.



3.25. ábra: A BCCH vivő 0. időrésére uplink irányban RACH logikai csatorna

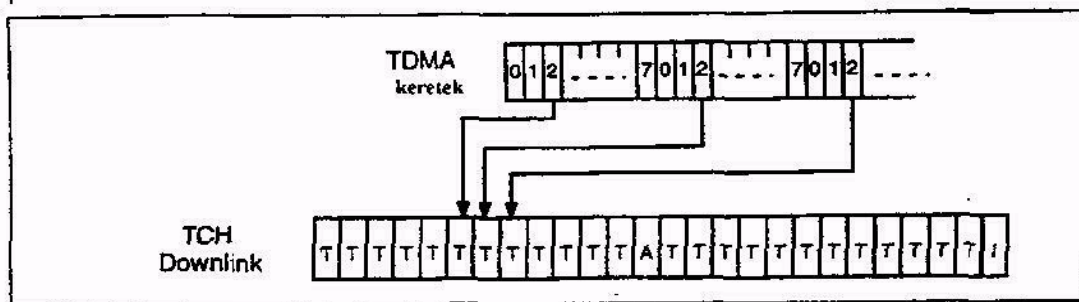
A BCCH vivo 1. idorésében mind downlink, mind pedig uplink irányban SDCCH és SACCH dedikált kontrol csatornákat lehet találni. Mivel a cellában 8 darab SDCCH (DO-D7) csatorna található, mindegyikhez tartozik egy SACCH (AO-A7) csatorna is. Az egyes SDCCH csatornák négy egymás utáni idorésben detektálhatók és küldhetők. Az azonos indexu SDCCH-k 51 keretenként ismétlődnek, a hozzájuk tartozó SACCH-k az ábrán látható módon csak 102 keretenként. Található a multikeret végén még 3 darab Idle burst is. Az SDCCH kijelölése egy mobil részére a rendszer felől érkező 0. idorésben található AGCH-n keresztül történik. Ezután a mobil rászinkronoz az 1. idorésre és a TDMA keretszám alapján meghatározza, hogy mikor érkezik számára információ. A kijelölt SDCCH csatornán lezajlik a mobil előfizető hitelesítése, a titkosítási eljárás és az IMEI ellenőrzés. Minden beérkező és kezdeményezett híváskor, de bekapcsoláskor, helyfrissítési eljárás és szolgáltatás aktiválás és deaktiválás esetén is lezajlálnak ezek a jelzésfolyamatok. Ha az ellenőrzések sikeresen - befejeződtek, beszélgetés, adatátvitel esetén az SDCCH-n történik a forgalmi csatorna (TCH) - kijelölése is. Ezután a mobil elhagyja az SDCCH-t ráhangol a kijelölt TCH-ra. Ha az ellenőrzéseket nem előfizetői információk átvitele követi, a mobil visszatér a 0. idorésbe és figyeli az azon beérkező információkat (általánost és pagmget). Az SDCCH-kat és a hozzájuk tartozó SACCH-kat tehát csak átmenetileg veszik igénybe a mobil egyedi jelzések kicserélése céljából. Az SACCH csatornák a jelzéskommunikáció közben menedzselik a kapcsolat fenntartását. A készülék méri a vett jel szintjét, bithiba arányát és a bázisállomástól való távolságot. Ezeket az értékeket az SACCH csatornán keresztül elküldi a rendszernek, ahol a kiértékelés során eldől, hogy jó-e az átvitel minősége. Ha nem, másik fizikai csatornán kell folytatni a jelzésátvitelt. A rendszer ugyanakkor „visszaszabályoz” a mobil felé, hiszen az adó kimeneti teljesítményét is változtatni kell, ha történetesen közelebb kerülünk a BTS adó-vevo antennájához. Ugyancsak problémát jelent a burstök megfelelő időben való elküldése, hiszen a BTS-tól távolabb lévő mobilok felé az információt relatíve előbb kell kiküldeni, mint amikor közelebb tartózkodunk a bázisállomáshoz (time alignment).

Az 1. idorés uplink irányban (mivel az SACCH és SDCCH kétirányú) ugyanolyan tartalmú, mint a downlink irányban, de a csatornák az előbbihez képest időben el vannak tolva.



3.26. ábra : SDCCH + SACCH multiplexálás az 1. időréseken downlink irányban

A BCCH vivo 2-7 időréseiben forgalmi csatornák kerülnek átvitelre, de a kapcsolat során ezt a frekvenciát nem ugráltatják (ld. Frekvencia-ugrálás). A cella összes többi vivojén, minden időrése is forgalmi csatorna funkciót lát el. A TCH-t használó mobilokban 26 időrésekből álló multikeret detektálható. Vegyük példaképpen a 2. időrést, ahol éppen beszélgetés folyik. A forgalmi csatornák multikerete 2x12 TCH (T) normál burstöt tartalmaz. Az első 12 után egy SDCCH csatorna található, tehát ebben az esetben az SACCH funkció a TCH-val társul, és hasonló funkciójú mint az SDCCH-val való kapcsolat esetében. A multikeret végén egy I (dummy burst) található.

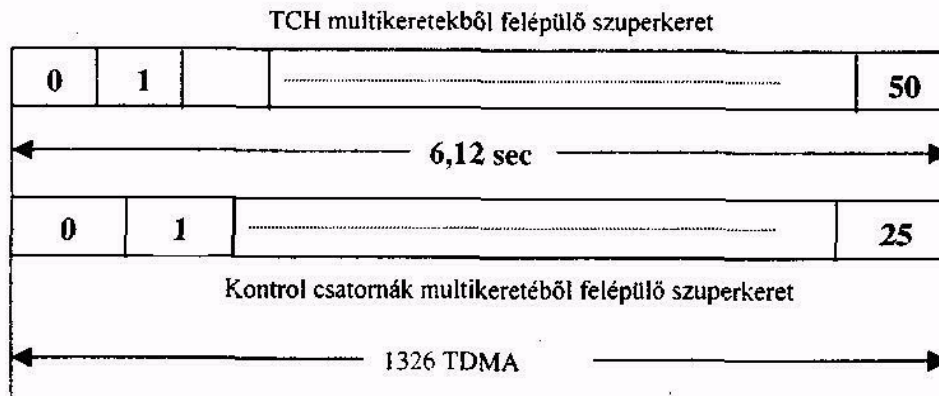


3.27. ábra: A TCH multiplexálása

Mivel a kapcsolat kétirányú ez a keretstruktúra (3.27. ábra) mind a két irányban megvalósul. azzal a különbséggel, hogy az uplink és downlink irányt a mobil három időréssel eltolva kezeli, hiszen vagy ad vagy pedig vesz, és idő kell az adásból a vételre történő átállásra.

3.9. Szuper és hiperkeret

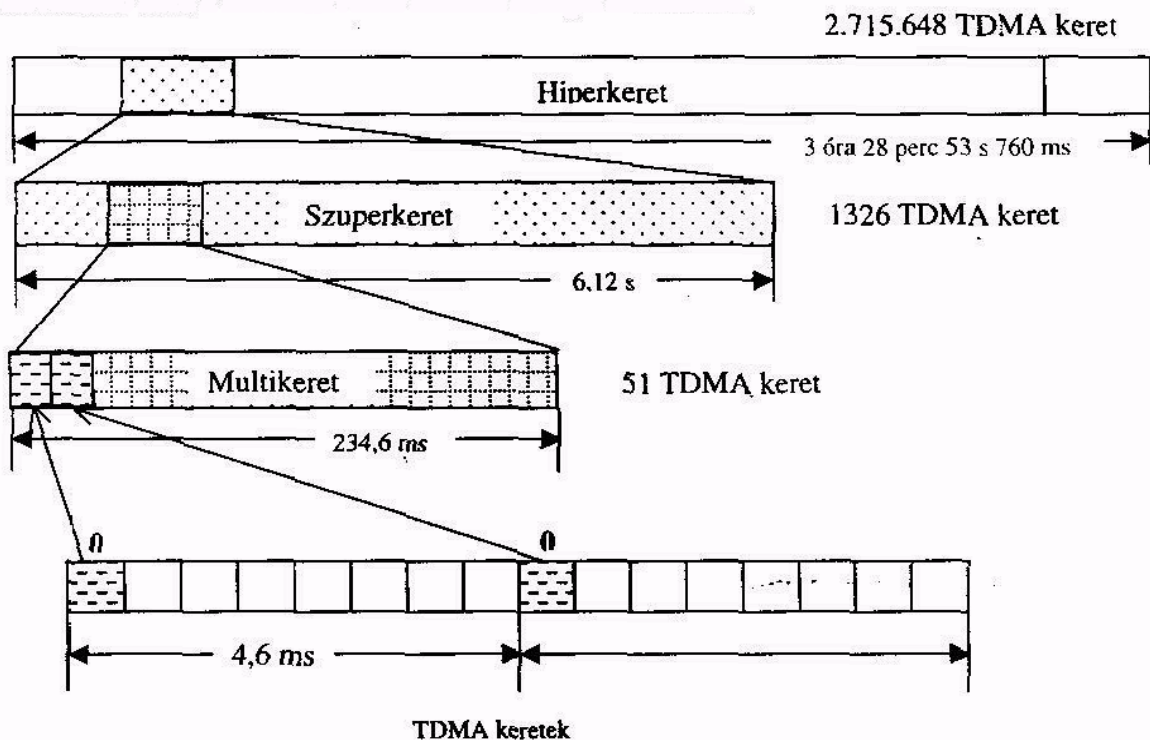
A szuperkeretek egyforma hosszúak, mert vagy 51 darab TCH multikeretből (hossza 26 TDMA keretido), vagy 26 darab kontrol csatorna multikeretből (hossza 51 TDMA keretido) állnak, így a szuperkeret hossza 26 x 51 azaz 1326 TDMA keretido, ami 6,12 szekundumnak felel meg (3.28. ábra)



3.28. ábra: A szuperkeretek felépítése

A hiperkeret a multiplexálás legmagasabb szintje, 2048 szuperkeretből áll. Ez összesen 2.715.648 TDMA keret jelent, tehát a TDMA keretszámozás ciklusa is ilyen hosszú. A hiperkeret ideje 3 óra 28 perc 53 s 760 ms. A hiperkeret jelentősége semmi mással nem magyarázható, mint a TDMA keretszám nagy variációs lehetőségével, hiszen ez a paraméter a titkosítási algoritmus egyik input adata.

A következő ábra a keretszervezés minden szintjét szemlélteti.



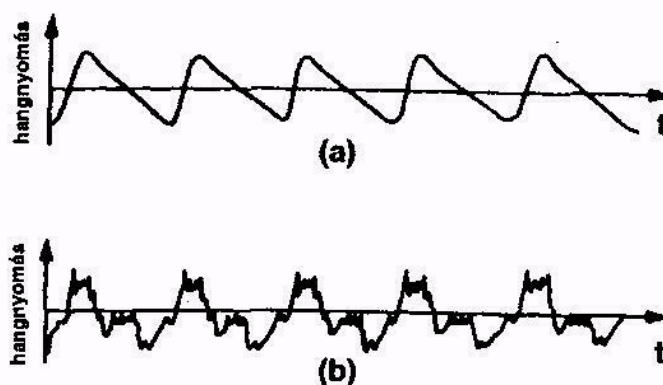
3.29. ábra: A keretszervezés szintjei a BCCH vivő 0. időrése vonatkozóan

3.10. Beszédátvitel

A beszédkódolás tárgyalása előtt tegyünk egy kis kitérőt, és tekintsünk bele az emberi beszéd és hangképzés érdekes világába. Ez azért szükséges, mert így jobban megérthető a GSM-ben alkalmazott speciális beszédkódoló működése.

3.10.1 Az emberi beszéd jellemzői

Az emberi beszédben, a hang előállításában három szervnek jut fontos szerep. A tüdő adja a szükséges légáramlatot, amelyet a gégefo és a hangszalagok periodikusan modulálnak. Ezáltal harmónikusokban gazdag furészrezgés jön létre. Ennek a jelnek a frekvenciáját a hangfeldolgozásban Pitch-frekvenciaként emlegetik, értéke a hangszalagok feszítettségétől függ. A hangok végső formálását a harmadik szerv-együttes végzi: a száj- és orrüreg, a nyelv és a fogak. Ezek lényegében akusztikus sávszuroknek tekinthetők, amelyek a jel spektrumát módosítják, s így hozzák létre az egyénre jellemző harmonikus tartalmat. Az üreg-együttest toldalékcsonak vagy vokális traktusnak is nevezik.



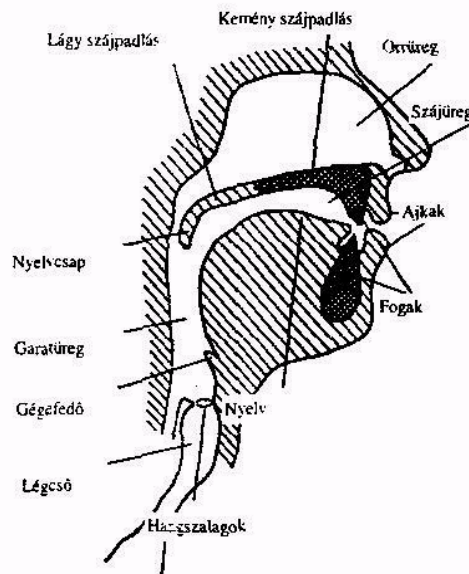
3.30. ábra.: a) Az emberi hangszalagok által keltett alaphang képe;
b) A száj és ornyíláson át távozó zöngés hang képe

Az emberi hangkeltés akusztikus modellje generátort és a generátor jelét formáló rezonátor rendszert (a száj, garat, orr együttese) tartalmaz. A rezonátor rendszert különféle hangrezgések gerjeszthetik. A legalapvetőbb gerjesztési forma a hangszalagok kváziperiodikus rezgése, a zöngé, mely közelítően azonos formában ismétlődő szakaszokat tartalmaz. A jel spektruma vonalas, a spektrumösszetevők frekvenciája az alaphang frekvenciájának többszöröse (3.30. ábra). A rezonátorrendszernek gerjesztést adhat a toldalékcso beszéd közben létrehozott szűkületében turbulens áramlásba kezdő levegő is. E gerjesztő jelek sajátossága, hogy véletlenszerűen változó, zajszerű, spektruma széles.

Gerjesztést kaphat a toldalékcso-rezonátor rendszere oly módon is, hogy a toldalékcsonban a nyelv vagy az ajkak zárat alkothatnak, s a zár mögött feltorlódott levegő felpattanja a zárat. A felpattanáskor hirtelen meginduló levegőáram egy lökésszerű gerjesztést ad a toldalékcsonnak, amely a feltorlódott levegőmennyiség kiáramlása után lecsillapodik. A létrehozott hangjelenség egy lökéshullám, melynek alakját a gerjesztésen kívül a rezonátorrendszer is befolyásolja. A zöngé, a turbulens áramlás és a lökéshullám a három alapvető gerjesztési forma.

A beszédhangok a beszéd olyan szegmensei, részletei, amelyeket a nyelvet beszélő egymástól elkülöníteni és felismerni teljes bizonyossággá! képes. A beszélt nyelv fonémakészlete az elemek olyan minimális készletű halmaza, amelyből minden szó jelentéshelyesen, de csak egyféleképpen állítható elő. A fonémakészletet durva osztályozással

két csoportra oszthatjuk: magánhangzókra és mássalhangzókra. A már említett Pitch-frekvencia értéke férfiaknál 80-200-Hz, nőkénél 130-350 Hz közötti.



3.31. ábra: Az emberi hangképző szervek képe

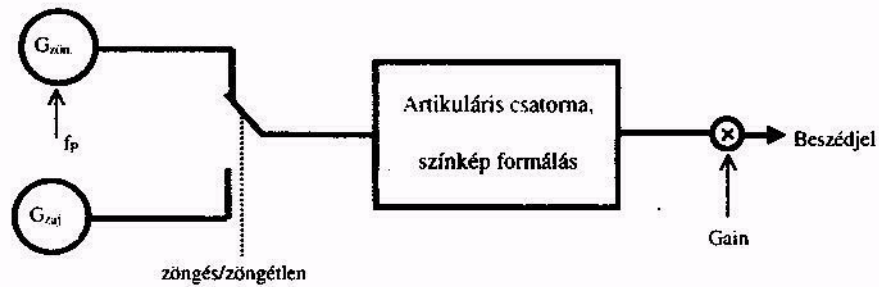
A magánhangzókra jellemzőek a felhangok, melyeket formánsoknak nevezünk. Értékük 300 és 3000 Hz közötti. A mássalhangzók általában nem periodikus rezgések. Ezek lehetnek zöngések és zöngétlenek. A zöngétlen mássalhangzók esetén a hangszalagoknak nincs szerepük, a hang a levegő sűrűsödése, turbulens áramlása során keletkezik. Azaz a zöngétlen mássalhangzók zaj jellegűek. A sziszegő hangok spektruma 10 kHz-ig is terjedhet.

3.10.2. Az emberi beszéd modellezése

Láttuk, hogy az emberi beszéd leírható egy generátorral! és a generátor jelét színeképében formáló szűrő rendszerrel. Fiziológiailag a szűrőt a száj- és orrüreg, nyelv és a fogak alkotta sávszűrő rendszerhez, az ún. vokális traktushoz rendelhetjük hozzá. A rezonátor rendszernek gerjesztést adhat:

- a zöngé,
- a turbulens áramlásba kezdő levegő és
- a levegő lökeshulláma.

A zöngé gerjesztést jellemezhetjük egy zöngé generátorral, a turbulens áramlást pedig egy zaj generátorral, hiszen az így képzett hangok spektruma széles, zajszerű. A látszat ellenére a harmadik gerjesztési forma nem igényel külön generátort. A levegő lökés hulláma a felpattanó zárhangokat (explozívokat) hozza létre. Ezek között egyaránt vannak zöngések (pl. a „b” hangzó) és zöngétlenek (ilyen a „p” hangzó). A többi hangzótól csupán időbeli lefolyásukban különböznek, gyorsan csillapodnak, jellegük lecsengő.



3.32. ábra: Az emberi beszéd modellje

Az eddigiek alapján megállapíthatjuk, hogy az összes beszédhang leírható két generátorral és a spektrumot módosító szűrő rendszerrel (3.32. ábra). Azonban van a beszédnek még egy jellemzője, amelyet az eddigiekben nem vettünk figyelembe. Ez a gerjesztés nagysága, azaz a beszéd „hangossága”. A hanglejtés és egyéb kifejező szándék miatt a hang erősségét folyamatosan változtatjuk, s ezáltal kap mondanivalónk személyes jelleget. A fentieket a gerjesztés nagyságával (beszédfeldolgozásban ezt a jellemzőt Gain faktorként emlegetik) kiegészítve, megkapjuk a beszéd általánosan használható modelljét. Az összes analízis-szintézis rendszer erre a modellre támaszkodik. Ez az alapja a GSM-ben használt vegyes rendszerű kódolási eljárásnak is.

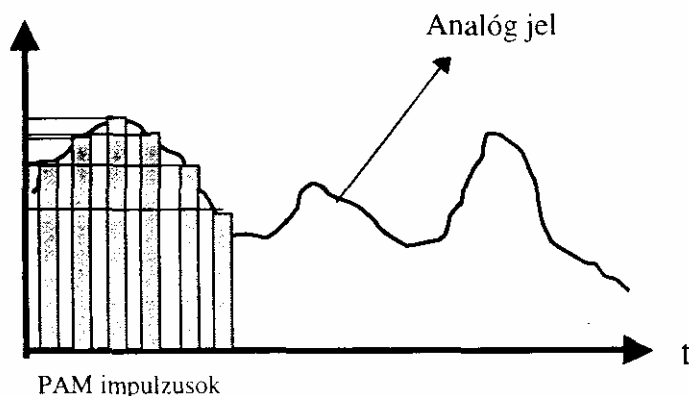
3.10.3. Beszédkódolás a GSM-ben

A hagyományos vezetékös távközlési rendszerekben alkalmazott PCM beszédkódoló eljárásban, minden mintát 8 bit reprezentál 8 kHz-es mintavételi frekvencia mellett. Ez végeredményben, egy beszédcsatornára 64 kbit/s-os sebességet eredményez. A GSM-ben ez a sebesség túl magas lenne, a fennálló sáv szélesség korlátok miatt. Ezért a beszédkódolás egy alternatív formáját használják.

Az alkalmazott hibrid kódoló a különböző digitális rendszerekben alkalmazott hullámforma kódoló és forrás kódoló, más néven vokóder keveréke.

Hullámforma kódoló

A hullámforma kódolás a beszéd, mint véletlen hullámforma lehetőleg hű átvitelét, az eredeti jel reprodukálását igyekszik megvalósítani. A hullámforma kódolók lényegében bonyolult analóg-digitális, vagy adaptív analóg-digitális átalakítók. Ebbe a csoportba tartozik a PCM kódoló is, ahol a hullámformát eloszór egy PAM (Pulse Amplitude Modulation) jellel írják le, majd a PAM impulzusok nagyságától függően alakítják ki a kódszavakat.



3.33. ábra: Hullámformakódolás elve

Forrás kódoló

A vokóderek nem közvetlenül a beszéd hullámformáját kódolják át, hanem az emberi beszédkeltésre vonatkozó elvekből, törvényszerűségekből igyekeznek megvalósítani a kódolást. Ez az adó oldalon valós idejű analízist, a vevő oldalon valós idejű szintézist igényel. Az ilyen rendszerek az adó oldalon elvégzett analízis, vagy predikció (becslés) alapján a hullámformát meghatározó beszéd paramétereit (pl: magánhangzók jellemzői, zöngés és zöngétlen mássalhangzók adatai, a zöngés hang alaphfrekvenciája) továbbítják. A vevő oldalon pedig a paramétereket beszéd szintetizátor vezérlésére használják.

A megvalósítás úgy történik, hogy az emberi beszéd szerveket próbálják leutánozni. A beszéd- szervek 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 szűrő paraméterei és a gerjesztő impulzusok folyamatosan változnak, de a beszéd szervek lassúságának köszönhetően kb. 20 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 eltároljuk a gerjesztő sorozatot is. A szűrőparaméterek a gerjesztő impulzusokkal együtt leírják a 20 ms idejű beszédet. Az átvitel során ezeket a paramétereket továbbítjuk.

Hibrid kódoló

A GSM-ben alkalmazott hibrid kódoló ötvözi az előbbi eljárások jó tulajdonságait. A beszédátviteli minőség a hullámforma kódolóéval egyező a vokóder átviteli sebessége mellett.

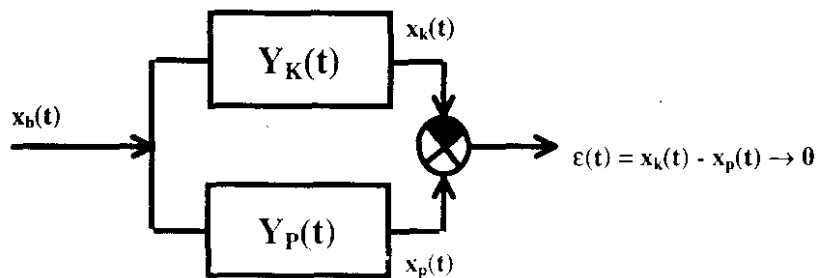
A beszéd kódolásához az LPC-LTP-RPE kódolási eljárást alkalmazzák LPC = Linear Predictive Coding (Lineáris becslési eljárás) LTP = Long Term Prediction (Hosszú idejű becsléssel) RPE = Regular Pulse Excitation (Szabályos impulzusgerjesztéssel)

A predikciós eljárások a jelek feldolgozásának, becslésének eszközei. A predikció annak a megfigyelésnek matematikai formában való kifejezése, hogy bizonyos időben lejátszódó jelenségeknél a jelenség valamely időpillanatbeli értéke, a tapasztalat vagy egyéb ismeret birtokában, megbecsülhető a jelenség korábbi időpillanatokban tapasztalt értékeiből. Lineáris a predikció, ha a becslés a becsléshez felhasznált értékek lineáris függvénye.

Az LPC-t megvalósító rendszer olyan struktúra, amely képes arra, hogy bármely bemenő jel esetén a kimenetet minimalizálja, azt igyekszik nullára szorítani. Mivel a bemenő jel korábbi értékeit megfigyelés alatt tartottuk, adott valószínűséggel meg tudjuk jósolni a jel

jövobeni értékeit. A kimenet minimalizálása ezek alapján a tényleges és a jósolt jel különbségének képzésével valósítható meg. Az LPC struktúra tehát egy időben folyamatosan változó variáns rendszer. Az alábbi ábra mutatja a lineáris predikció elvét.

Beszédfeldolgozás során alkalmazott LPC struktúráknak a beszéd által alkotott rezonáns rendszerrel ellentétes karakterisztikája kell, hogy legyen. Ezt mutatja a 3.34. ábra. Az $Y_k(t)$ a beszéd által alkotott rendszer, az $Y_p(t)$ pedig a prediktor. Az $x_b(t)$ bemenő jelsorozat korábbi értékeinek megfigyelése alapján megjósolhatók a jel jövőbeli értékei. Az $x_p(t)$ a prediktor által jósolt jel, míg az $x_k(t)$ a beszédjel tényleges értékei. A predikció eredményességét a két jel különbsége adja. Ezt nevezik a predikció hibájának és e -nal jelölik. Digitális jelfeldolgozás esetén természetesen nem folytonos jelekről, hanem mintasorozatokról beszélünk. Ez esetben a hiba $e(n)$ lesz. Eredményes predikció esetén a hibának nullához kell tartania.

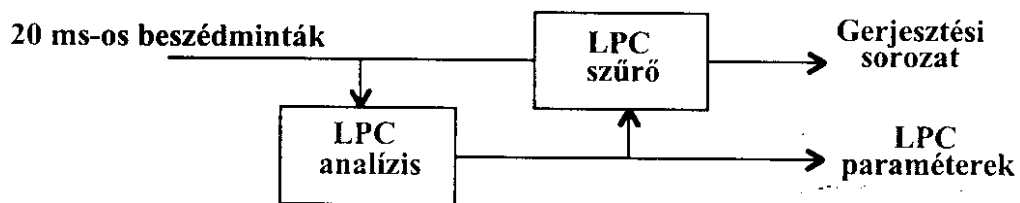


3.34. ábra: Az emberi beszédjel predikciója

Mivel a beszédjel időben folyamatosan változik, ez a prediktív rendszer folyamatos változtatását igényli. Ezért az LPC analízis jellegét tekintve adaptív rendszer, azaz változó bemenetre a rendszer autonóm változtatja saját struktúráját. Ezáltal változó bemenőjel esetén is ténylegesen megvalósítható a kimenet minimalizálása, vagyis a predikció.

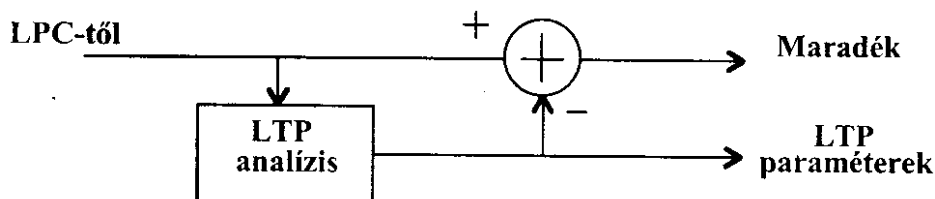
A beszédkódoló felépítése

LPC: Az LPC elve az, hogy a 20 ms-os beszédmintákat az analízis után egy inverz szűrő csatolják vissza. Ideális esetben a szűrő kimenetén megjelenik egy ún. gerjesztési sorozat (különbségi jel), amely még további feldolgozásra a következő fokozatba (LTP) kerül. Az LPC paraméterek a beszédjellemzőket írják le és a rádiós csatornán keresztül a beszédekódolóba kerülnek.



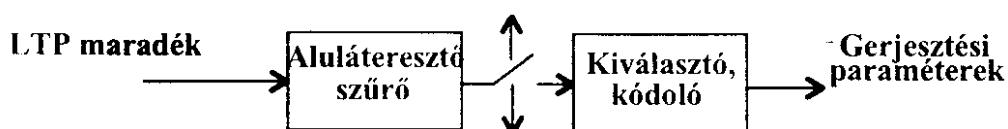
3.35. ábra: Az LPC egység felépítése

LTP: A beszéd egymást követő mintái nagyon hasonlóak. Ezt a hasonlóságot használják ki az LTP szűrőben, amelyben kivonják a megelőző sorozatot az aktuálisból. Ha jó volt a becslés, az így kapott „maradék” információt már sokkal kevesebb biten lehet kódolni.



3.36. ábra: LTP egység

RPE: Ahhoz, hogy a gerjesztési paramétereket meg lehessen határozni, az LPC-ból érkező „maradék”-ot először egy aluláteresztő szűrőre vezetik, majd mintavételezik. Ezután csak minden harmadik kerül kiválasztásra, majd az így kapott mintákat hullámforma kódolóba vezetik. A kódolóból kijövő gerjesztési paraméterek kerülnek a beszédkódoló kimenetére.

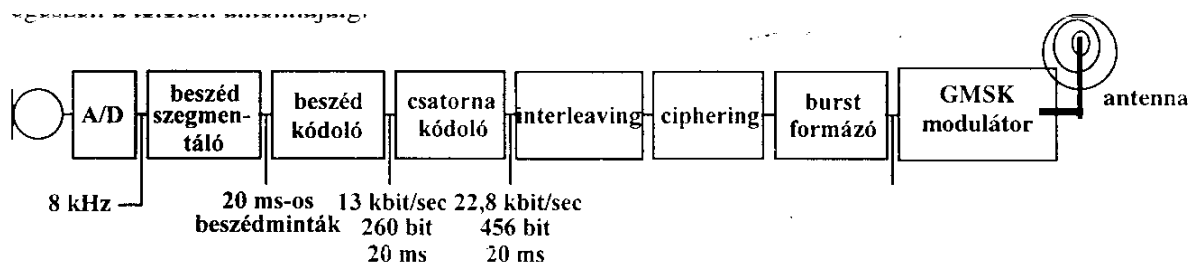


3.37. ábra: Az RPE egység működése

Az LPC+LTP művelet után a jelsebesség 3,6 kbit/sec, ehhez hozzájön még az RPE kódolás 9,4 kbit/sec-os sebessége, így végeredményben a beszédkódoló kimenetén 13 kbit/sec a jelsebesség.

3.10.4. A csatornakódolás és az interleaving elve

A 3.38. ábrán azokat a lépéseket ábrázoljuk, amelyek a GSM telefonban a beszéd átalakításának (kódolás, keverés, formázás, moduláció) során történnek, a mikrofontól egészen a telefon antennájáig.



3.38. ábra: A beszéd átalakításának lépései a mobiltelefonban

Az előző fejezetben ismertetett beszédkódoló kimenetén 13 kbit/s sebességű jelfolyam jelenik meg, amely a továbbiakban a csatornakódolóba kerül. A csatornakódolás biztosítja a rádiós átvitelre kerülő hasznos információ védelmét. A csatornakódolás elvének megértéséhez, először áttekinthetjük az átvitel néhány jellemzőjét.

A digitális átvitel során az átvitel minőségét jól jellemzi a bit-hiba arány (BER, Bit Error Rate). A BER érték, egy bináris jelfolyam meghatározott időtartama alatt előforduló téves biteknek az összes bitre vonatkoztatott százalékos aránya. Arra kell törekedni, hogy ezt az értéket olyan kicsire csökkentsük, amilyen kicsire csak lehet. Az átviteli út (levegő) állandóan

változik, emiatt a BER sem állandó. Teljesen hibamentes átvitel csak ideális esetben létezik, ezért a cél a BER egy még számunkra elfogadható érték alatt tartása. Az ismert bit-hiba arány mellett előforduló hibákat helyre kell állítani, vagy legalább detektálni kell ahhoz, hogy ne kezeljük őket úgy, mintha helyes értékek tennének. Ez az elv különösen fontos adatátvitelnél. Beszédátvitel esetében magasabb BER is elfogadható.

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 lehet előállítani. 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.

információ	többszörös információ	elküldött információ
0	000	0000
1	111	1111

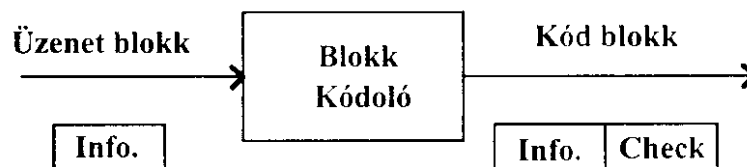
Minden adóoldali bithez (0, 1) egy helyes vételezési kombináció tartozik (0000, 1111). Ha más értéket detektálunk, mint 0000 vagy 1111 akkor az átvitel során hibák keletkeztek. A redundáns bitek lehetővé teszik a hibák kezelését:

vételi kombinációk:	0000	0010	0110	0111	1111
vételi információ:	0	0	0	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 ebben a példában erre a kódolóra azt mondhatjuk, hogy 2 bites hibafelderítő és 1 bites hibajavító kódoló.

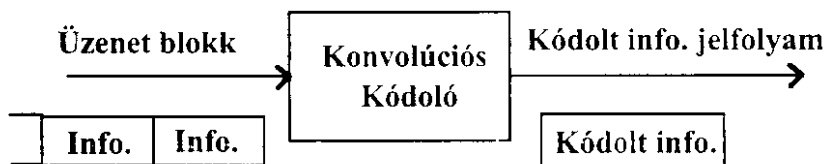
A hibajavító kódokat két nagy csoportra oszthatjuk, a blokk kódokra és konvolúciós kódokra.

A blokk kódolás lehetővé teszi a hiba detektálását. Minden információs blokk végére paritás vagy checksum 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.



3.39. ábra: Blokk kódoló elve

A konvolúciós kódoló eljárás lehetővé teszi a blokkokban felfedezett hibák kijavítását. Ennek az ára az, hogy az átvinni kívánt információ mennyisége jelentősen megnövekszik. 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 nem csak az aktuális értéktől függenek, hanem az azt megelőzőktől is.



3.40. ábra: A konvolúciós kódoló elve

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

Ha a kódolás két konvolúciós formulát tartalmaz, a kódoló kimenetén egymás után két darab konvolúciós sorozat jelenik meg. Ezeket úgy kaphatjuk meg, hogy a megfelelően elléptetett bemeneti sorozatokon bitenként alkalmazzuk a kizáró-vagy műveletet. A konvolúciós művelet két generátor polinommal írható le:

$$G1 = 1 + D + D^3$$

$$G2 = 1 + D^2 + D^3$$

- a $G1$ konvolúciós eredmény a bemeneti sorozat, az egy bitidovel késleltetett bemeneti sorozat és a három bitidovel késleltetett bemeneti sorozatból származik.
- a $G2$ konvolúciós eredménye bemeneti sorozat, a két bitidovel késleltetett bemeneti sorozat és a három bitidovel késleltetett bemeneti sorozatból származik.

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 tail 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. A "puncturing" kódolást adatátvitel esetén alkalmazzák, a beszéd és más információk kódolásakor mind a két konvolúciós sorozatot teljes egészében átviszik.

Bemeneti blokk	12 bit	100100110101
Tail bitek hozzáadása	18 bit	000 100100110101000
Késleltetés 1 bitidovel		00 0100100110101000
Késleltetés 2 bitidovel		0 00100100110101000
Késleltetés 3 bitidovel		000100100110101000
1. konvolúciós sorozat	15 bit	110010001001001
2. konvolúciós sorozat	15 bit	101001011110111
Puncture 2. sorozat	8 bit	1 1 0 0 1 1 1 1
Átvitt blokk	23 bit	111 01010000011001101011

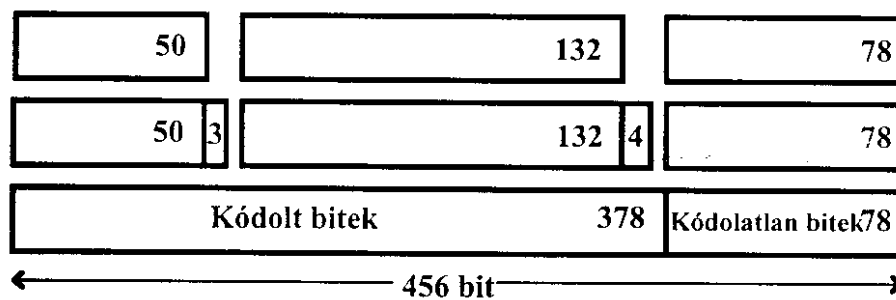
3.41. ábra A konvolúció képzésének elve

Például alkalmazzuk a második változatot $b=12$ bitre (3. 41. ábra). A 12 bit elejére és végére 3-3 nullás bitet illesztünk és a két konvolúciós polinom szerinti műveleteket felülről lefelé végezzük el. Vegyük például a táblázat második sorának balról számított negyedik bitjét (1) és ezt hozzuk kizáró vagy kapcsolatba az alatta lévő bittel (0), az eredmény 1. Most ennek az 1-nek és a két sorral lejjebb lévő 0-nak vegyük a kizáró vagy kapcsolatát, az eredmény megint 1 lesz. Ez az érték lesz az 1. konvolúciós sorozat első bitje. A generátor polinomok szerint képezve a többi bitet is, két 15-15 bitből álló konvolúciós sorozatot kapunk. A puncture művelet elvégzéséhez, a 2. konvolúciós sorozatból csak minden második bitet vesszük figyelembe. A végso 23 bites blokk úgy épül fel, hogy az első konvolúciós sorozat bitjei kettesével közrefogják a második konvolúciós sorozatból származó 8 bitet. A fentiekben ismertetett elvek alapján most megnézzük, hogy a beszéd-kódolóból érkező 20 ms-os. 260 bitet tartalmazó mintákat milyen lépésekben csatornakódolják.

A 260 bit a fontosság szempontjából három csoportra van osztva:

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

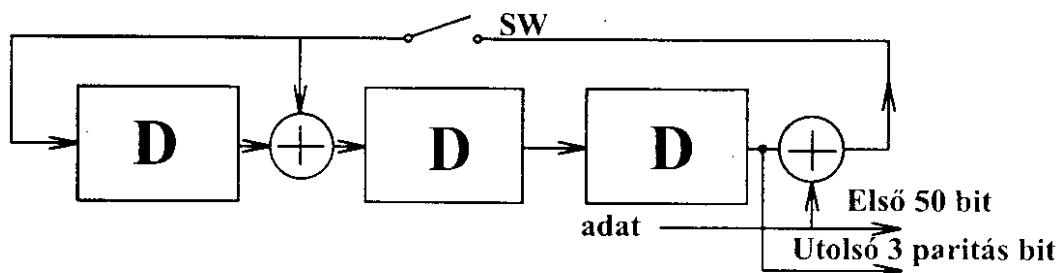
A csatornakódolás lépései a következők (3. 42. ábra):



3.42. ábra: A csatornakódolás fázisai

Az első 50 bites csoportot blokk kódolásnak vetik alá, ezáltal 3 paritásbittel egészül ki. Majd az 53 bit a 132 fontos bittel és ahhoz még hozzáadott négy darab 0-val együtt (összesen 189 bit) a konvolúciós kódolóba kerül, aminek kimenetén 378 bitet kapunk. Ez pontosan kétszerese a kódoló bemenetére kerülő bitek számának. A megmaradó 78 bit (C2) kódolatlan marad. Tehát a beszéd-kódolóból származó 260 bitből a csatorna kódolás során 456 bit lesz, az átviteli sebesség ez által 22,8 kbit/sec-ra nő.

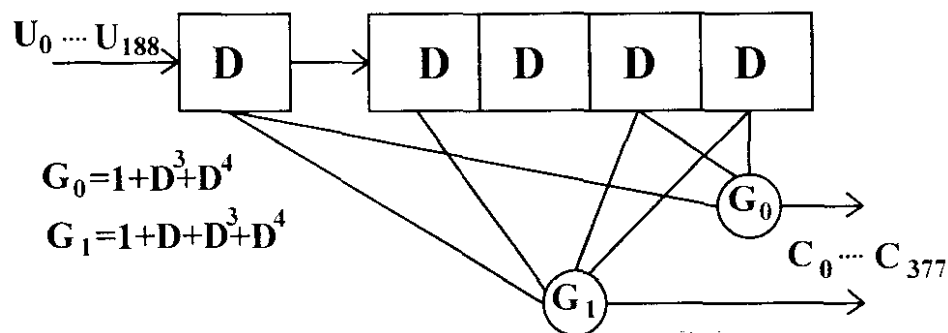
Nézzük először a blokk kódoló felépítését, amit a 3. 43. ábrán követhetünk nyomon.



3.43. ábra: A blokk kódoló felépítése

A kódoló shift regiszterekből épül fel, amelyek biztosítják a megfelelő késleltetést is. Mivel szisztematikus kódoló gyurut alkalmaznak az SW kapcsoló az első ötven bit időtartama alatt zárva van és az információbitek sorban beléptetődnek a kódolóba, valamint továbbmennek a konvolúciós kódolóba. Ötven óraimpulzus után az SW kapcsoló nyit és a három paritás bitet (P0, P1, P2) három óraimpulzus alatt kiléptetik a kódolóból. A blokk-kódolás időtartama alatt Clb és C2 bitszóport változatlan marad.

A blokk-kódolás művelete után az 53 bithez hozzáteszik a Clb csoport bitjeit (132) és egy kissé átrendezik az így kapott bitfolyamot. A Cl csoporthoz hozzáadódik még négy darab nulla értékű tail bit. A tail bitek a Cl csoport hibajavító kódolására alkalmazott konvolúciós kódoló reseteléséhez szükségesek. A konvolúciós kódoló generátor polinomjait az ábrán tüntettük fel, a polinomok csak a beszédkódoláskor érvényesek. A 189 bites bemeneti sorozaton elvégzett konvolúciós műveletek bitsorozatai (először G0, majd G1) adják a 378 bites eredményt.

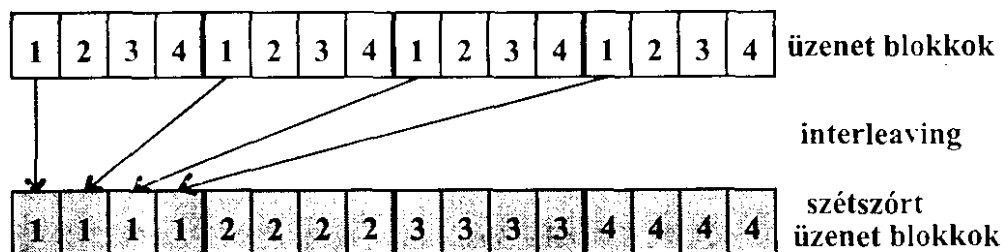


3.44. ábra: A konvolúciós kódoló felépítése

A 378 bithez még hozzáadódik az a 78 bit amit nem kellett csatornakódolni, így végül is a keret hossza a csatorna kódoló kimenetén $2 \times 189 + 78 = 456$ bit.

3.10.5. Az interleaving szintjei

Az interleaving művelet elvégzése úgy történik, hogy szétválasztjuk az egy csomagban elhelyezkedő biteket és azokat más időpontban küldjük el. Miért hasznos ez? A rádiós átvitel során a bithibák nagyobb része csoportos hiba, tehát nem egyetlen bitet érint, másodsorú nyilvánvaló, hogy nehezebb a csoportos hibák kezelésére alkalmas kódolót alkotni. A csatorna-kódolás az egyszeres bithibákat jobb hatásfokkal detektálja és javítja mint a hibacsomókat.

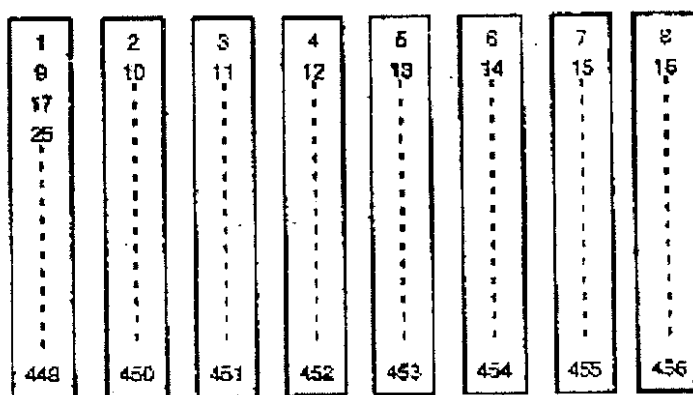


3.45. ábra: Üzenetblokkok „szétszórásának” elve

Az interleaving műveletének elve lényegében abból áll, hogy egy üzenetblokk bitjeit bizonyos szabályok szerint átrendezzük, 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 (3. 45. ábra) csak az eredeti üzenetblokk 25%-a sérül meg. Úgy kell megválasztani az interleaving szabályt, 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 átviteli sebessége csökken. E két tulajdonság egyensúlyban tartása érdekében, többféle interleaving formula van szabványosítva a GSM-ben, attól függően, hogy csatornát milyen célra használják.

Beszédátvitel esetén a csatornakódolóból kijövő 456 bitet 8 blokkra osztják a 3. 46. ábrán látható módon. Az azonos blokkokba csak minden nyolcadik bitet soroljuk be, ezzel tehát 57 bites blokkokat alakítunk ki. Mivel egy normál burstbe két blokkot lehet elhelyezni, ezért a teljes 456 bites mintát 4 burstben lehet átvinni. Ha ebben az esetben az átvitel során egy burst „elveszne” a teljes 456 bites mintára 25% információ veszteséget kapnánk. A blokkok létrehozásával az ún. első szintu interleaving-et valósítottuk meg.

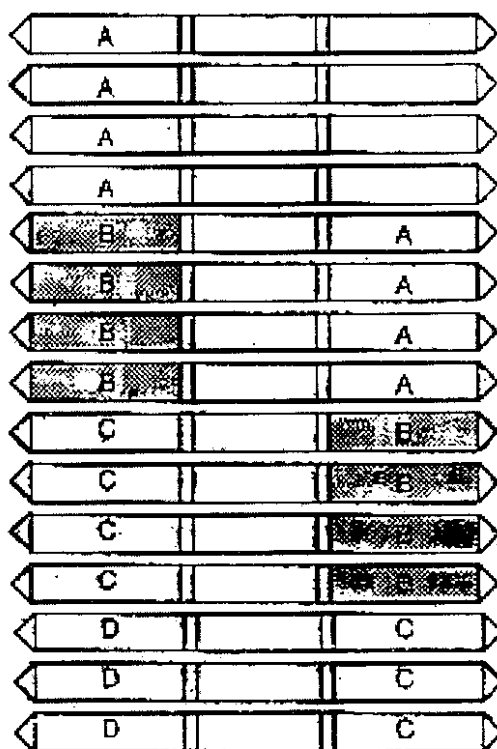


3.46. ábra: Blokkok képzése a 456 bites kódolt beszédbitekből

Ha a veszteség 25%-os, a vevooldalon található dekódoló nem tudja a 20. ms-os beszédmintából „regenerálni” a beszédinformációt. A veszteség csökkentésérc további interleaving megoldásra van szükség.

Ezt úgy lehet megvalósítani, hogy a burstben egy másik 20 ms-os beszédminta blokkját is elhelyezzük, tehát egy beszédmintát blokkonként egy-egy burstben visszük át, azaz a teljes 456 bitet összesen nyolc burstben. Ebben az esetben a veszteség már csak 25% százalék lehet egy burst kiesése esetén. Ez a második szintu interleaving, amelynek elvéi a 3. 47. ábrán lehet nyomon követni, ahol A, B, C és D négy időben egymás utáni 456 bites, 20 ms-os kódolt beszédinformáció.

Ez a hibaarány már elfogadható, a dekódoló vissza tudja állítani a burst-ök tartalmát a vételi oldalon.



3.47. ábra: Második szintű interleaving blokk szinten

Habár ebben a megoldásban egy burst már két beszédminta egy-egy blokkját tartalmazza, még a burst-on belül is történik bitkeverés egy szisztematikus algoritmus alapján. Ezt a megoldást inter-burst interleaving-nek nevezzük.

Az interleaving fenti megoldásait csak úgy lehet megvalósítani, hogy a beszédmintákat átmenetileg tárolja az adó és a vevo is, hiszen darabokból kell összerakni, majd szétválogatni egy-egy beszédminta összetartozó bitjeit. Az interleaving algoritmusok természetesen ismertek az adó és a vevo számára is.

A nem beszéd információk átvitelénél (adatátvitel esetén vagy a kontrol csatornák átvitelekor) ennél bonyolultabb csatornakódolási és interleaving formulákat használnak, amiket ebben a könyvben nem ismertetünk.

3.10.6. A titkosítás és moduláció

Az interleaving muvelete nem változtat a bitek számán, tehát az algoritmusok után a csatornakódoló kimenetén található bitsebesség az érvényes, azaz 22, 8 kbit/s.

A ciphering vagy titkosítás muveletét a következő fejezetben ismertetjük, de most annyit megemlítünk, hogy a titkosítás során a burstbe kerülő 114 bitet bitenként kizáró-vagy kapcsolatba hozzák egy ugyancsak 114 bites titkosított kulcsszóval. Ezt a kulcsszót egy algoritmus állítja elő az adó és a vevo oldalon a TDMA keretszám és egy Kc nevű bemeneti paraméter segítségével.

A titkosítás után a burst formázása történik, azaz a kétszer 57 bithez hozzáadódik a 3-3 Tail bit, a már ismertetett Training sequence és a két Stealing flag, azaz felépül a normál burst.

A burst tartalma ezután a modulátorba kerül és az antennán keresztül kisugárzódik. Az alkalmazott moduláció neve: Gaussi Minimum Billeentyűzés, azaz GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Mivel az átvitt információ digitális, ezért a szinuszos vivon valamilyen billeentyűzési eljárást kell alkalmazni. A modulátor a két szimbólumot (0 és 1)

lényegében egy fázismodulációs billentyűzéssel továbbítja. A vivonek ilyenkor a fázisa változik a bit értékétől függően. A moduláció hatékonyságát növeli a modulátor bemenetén található Gauss sáváteresztő szűrő, amivel a hagyományos MSK modulációkkal szemben egy keskenyebb sávú átvitelt lehet megvalósítani. Ennek azonban az az ára, hogy a jel érzékenyebb lesz a zajokkal szemben.

4. A GSM védelmi rendszere

A GSM rendszer kifejlesztésekor az egyik legfontosabb feladat a védelmi rendszer kidolgozása volt. A GSM több szinten gondoskodik az előfizető védelméről melynek elemei a következők:

- A SIM kártya csak a személyes azonosító szám (PIN = Personal Identity Modul) megadásával működik, ez kellemő biztonságot nyújt a kártya ellopása (klónozása) esetén is. Lopott kártya használatának esetén a szolgáltató azonnal letilthatja a szolgáltatást.
- A hitelesítés vagy autentikáció az IMSI érvényességének ellenőrzésére szolgál. A hitelesítés az előfizetői kártya (SIM) segítségével történik, számított paraméter alapján.
- A titkosítás teljes bizalmasságot biztosít a rádiós csatornán az előfizetői információknak (beszédnek vagy adatnak). A titkosítás csak a mobilkészülék és a bázisállomás között valósul meg, a központban az információ már nincs titkosítva.
- Minden mobiltelefon rendelkezik egy IMEI azonosítóval, amely alapján a hálózatok ellenőrizhetik a készülék státusát. Ha lopott készülékről van szó, a hálózathoz való hozzáférést le lehet tiltani, vagy más intézkedést lehet életbe léptetni.

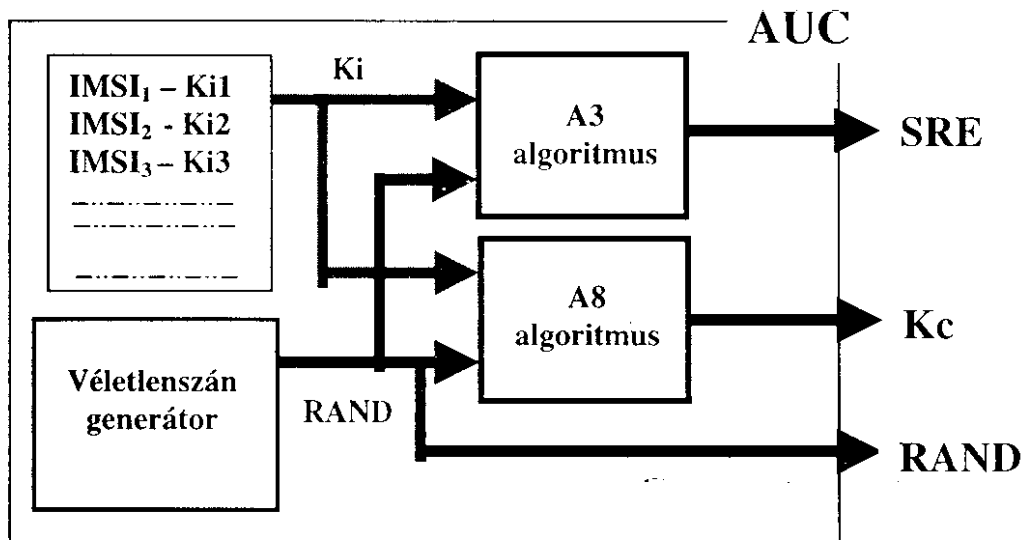
A biztonsági funkciók ellátásában a következő funkcionális elemek vesznek részt:

- Mobil állomás (MS)
- Bázisállomás (BTS)
- Mobil kapcsolóközpont (MSC)
- Autentikációs központ (AUC)
- Honos helyregiszter (HLR)
- Látogató helyregiszter (VLR).

4.1. Autentikációs eljárás

Az autentikáció lényegében az előfizetői azonosság hitelességvizsgálata, amely érvényesíti az előfizetői azonosságot, azaz az IMSI-t. Az autentikációnak az a célja, hogy megvédje a hálózatot a jogosulatlan használatl szemben, védelmet nyújt a GSM PLMN előfizetőinek azáltal, hogy kiszűri a jogosult felhasználók esetleges „megszemélyesítési” kísérleteit.

Autentikációt alkalmaz a GSM minden bejelentkezésnél, minden híváskezdemenyezésnél és fogadáskor, helyfrissítési eljárás esetén (location update) és kiegészítő szolgáltatások aktiválása, vagy törlése előtt. Az autentikációs eljárásban alkalmazott paramétereket a rendszeroldalon az autentikációs központ (AUC) állítja elő. Az AUC feladatait a 4. 1. ábrán lehet nyomon követni.

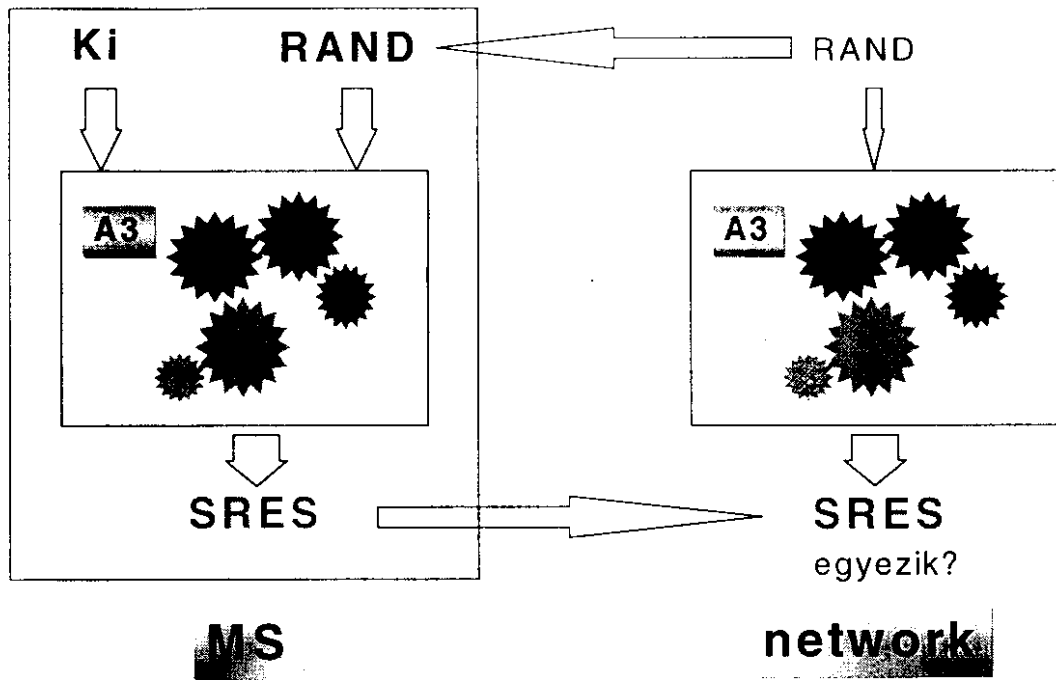


4.1. ábra: Az AUC feladata a Triplet előállítása

Az AUC létrehozza az autentikációhoz és a titkosításhoz használt tripletet (számhármast). Egy triplet egy RAND véletlen számból, egy Kc titkosítási kulcsból és egy SRES (Signed Response) autentikációs válaszból áll

Az AUC kiszámítja az SRES értékét az A3 algoritmust felhasználva, amelynek bemenő paraméterei az előfizető különleges 128 bites kulcsa (Ki) és egy szintén 128 bit hosszúságú véletlen szám (RAND). Ugyanezen bemenő paraméterek kerülnek felhasználásra az A8 algoritmusban is, melynek eredménye a Kc titkosítási kulcs. A RAND számot az AUC állítja elő, a Ki pedig az előfizető felvételekor kerül az AUC adatbankjába.

Az ilyen módon előállított tripletet az AUC elküldi a HLR-nek későbbi felhasználásra. A HLR-ben tíz tripletet tárolnak egyszerre az előfizető IMSI-jével és TMSI-jével együtt, tehát első nekifutásra az AUC tízszer hajtja végre ezt a folyamatot. A HLR-ből a tripletek az aktuális VLR-be töltődnek át, ahol a rendszer felhasználja azokat az autentikációs és titkosítási folyamat elvégzésére. A RAND értékét ezután kapja meg az MS. Az autentikáció folyamata akkor indul, amikor a VLR egy autentikáció kérést küld az MS felé. Ezen üzenet paraméterei a 128 bites véletlen szám (RAND) és a 3 bites titkosítási kulcs sorszáma (CKSN).



4.2.ábra: Az SRES előállítása és ellenőrzése

Amikor az MS veszi az autentikáció kérést, eltárolja a CKSN-t, amelyet később vissza küld, pl. egy kiszolgáláskéréskor. Azután az A3 algoritmussal kiszámítja az autentikációs paramétert (SRES-t), a SIM-en tárolt elofizetoi kulcs (Ki) és a kapott RAND szám alapján. A SRES számított értéke az autentikációs válaszban visszajut az MSC/VLR-be. Az MSC összehasonlítja az AUC által előállított SRES-t az MS által küldöttel. Ha egyeznek, akkor az MS megfelelt az autentikációs eljárásnak (4. 2. ábra). Ha az autentikáció nem sikerül, az nem mást jelent, mint hogy a mobilból származó SRES nem egyezik az MSC/VLR-ben tárolt értékkel.

A hálózat különbséget tesz két, a mobil állomás azonosítására használt mód között:

- TMSI volt használva;
- IMSI volt használva.

Ha a TMSI volt használva, a hálózat elindíthatja az azonosító eljárást, amelyben az MS-nek fel kell. küldenie a rendszerbe, az IMSI-jét. Ezután, ha a mobilról kapott IMSI eltér attól, amelyet a hálózat tárol, az autentikáció helyes paraméterekkel újra indul. Ha a kapott IMSI megegyezik a tároltak egyikével, az MSC a továbbiakban leírtak szerint halad.

Ha az IMSI volt használva, vagy a hálózat úgy dönt. hogy nincs szükség azonosítási eljárásra, akkor az MSC egy autentikáció-visszautasítás üzenetet küld a mobil készüléknek. A továbbiakban minden kapcsolat megszakad. A mobil készülék veszi az autentikáció-visszautasítás üzenetet és törli SIM-jéről a TMSI-t, a LAI-t, a Kc-t, a CKSN-t, és a továbbiakban csak segélyhívásokat tesz lehetővé. Ez egy nagyon komoly eset, mivel a SIM kártya letiltását jelenti. Ha bit- vagy szoftverhiba miatt történik a visszautasítás - ezt megakadályozandó- a rendszer rendelkezik egy cserélhető paraméterrel a sikertelen autentikáció kezelésére. Ha ez a paraméter megfelelően van beállítva, akkor az MSC nem fog küldeni autentikáció-visszautasítási, helyette azonban visszautasítja a mobil belépését a rendszerbe, a következő négy üzenetet küldve a kiváltó okoktól függően:

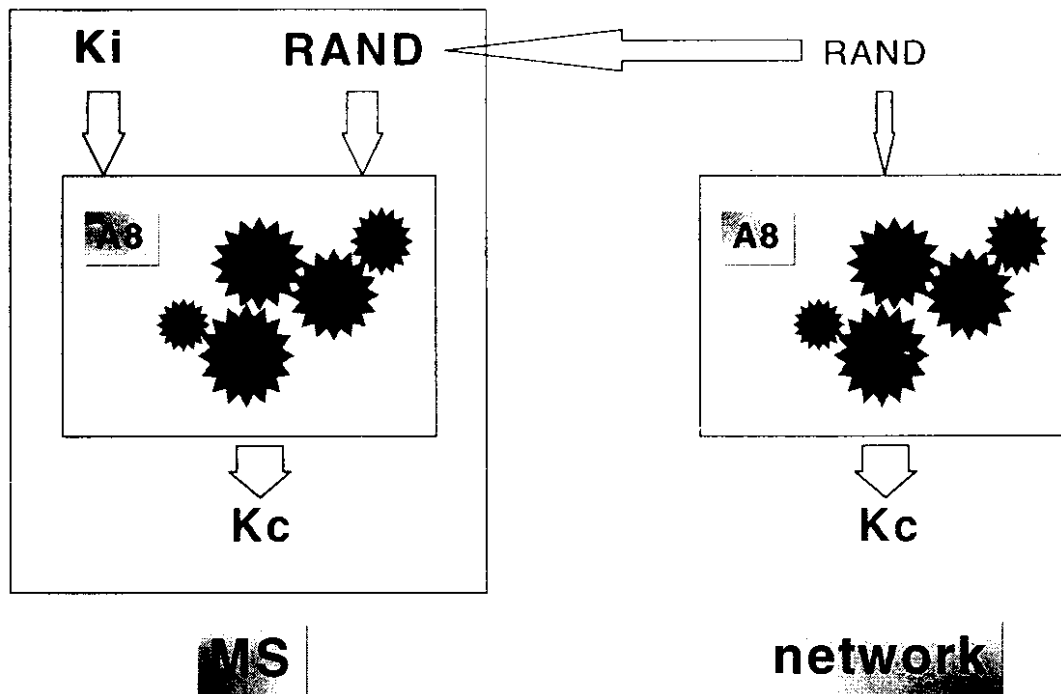
- "Az IMSI ismeretlen a VLR-ben" (mobil által kezdeményezett hívás)
- Nincs üzenet, csak szét kapcsolás (mobil által befejezett hívás)
- "PLMN nincs engedélyezve" (Location updating)
- "Az IMSI ismeretlen a VLR-ben" (kiegészítő szolgáltatásokat vezérlő műveletek)

A mechanizmus biztonsága a Ki-n alapszik, így ez a legvédehetőbb. Az autentikáció tekintetében a rendszer különféle megfontolásoknak tesz eleget. Az SRES előállítása könnyű és gyors, viszont maga az SRES és a RAND annyira komplex, amennyire csak lehetséges, nehogy vissza lehessen kapni a Ki-t. A Ki bármilyen lehet, így maximális az operátor flexibilitása, de az A3 algoritmus titkos és GSM-ben egységes, ezzel lehetővé válik a nemzetközi bolyongás.

4. 2. Titkosítás — biztonság a rádiós csatornán

A titkosság a fizikai rádiócsatornán azt jelenti, hogy a BTS és MS között lezajló információ és jelzés nem áll a jogosulatlan személyek rendelkezésére. Szándéka, hogy biztosítsa a felhasználói információ titkosítását. Minden beszélgetés és adat titkosított, és minden velük társuló jelzés-információ is védett.

Ha az autentikáció sikeresen lezajlott, elindulhat a titkosítási eljárás, amikor is az MSC/VLR elküld egy üzenetet az MS és BTS felé a titkosítási eljárás indítására (Ciphering Mode Command). Ekkor a BTS megkapja a VLR-ben tárolt Kc-t és az MS az A8 algoritmust használva kiszámítja a Kc-t a Ki-ből és a RAND-ból (4. 3. ábra), amely az autentikáció kérés üzenetben érkezett. A titkosítási mód parancsa a BTS-ből az MS-be nincs titkosítva.

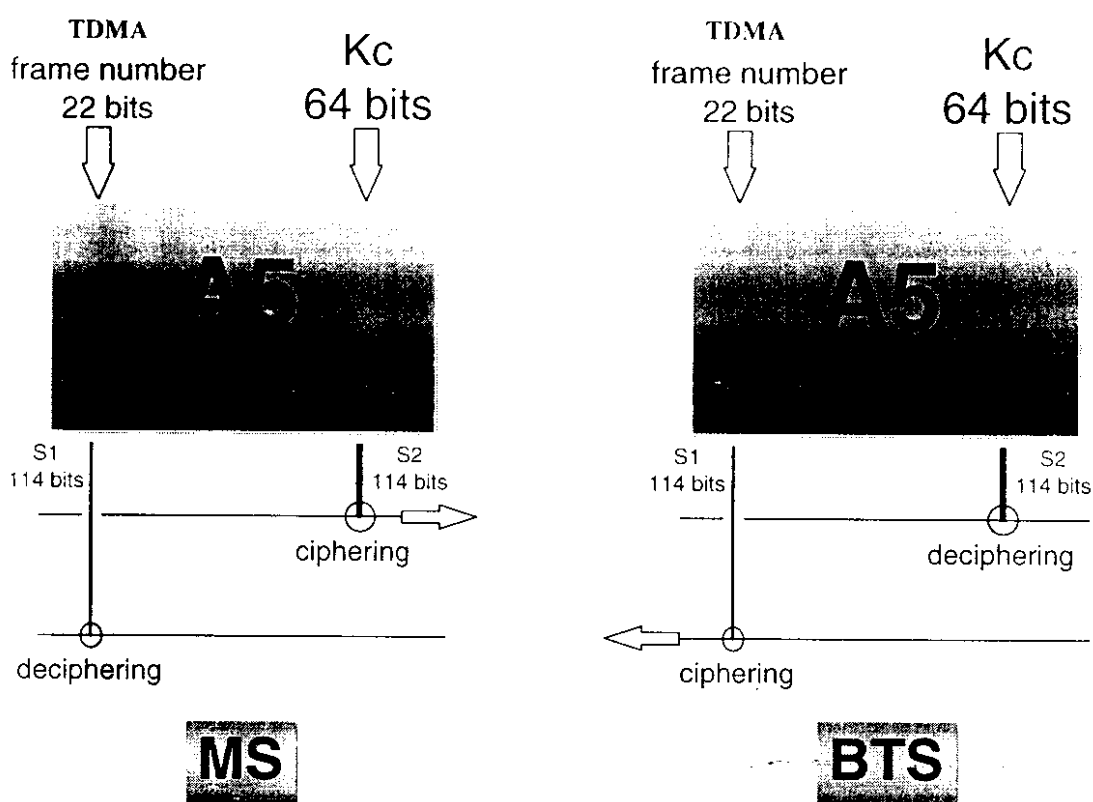


4.3. ábra: A titkosítási kulcs (Kc) előállítása

Miután az MS kiszámította a Kc értéket (ez elvileg megegyezik a BTS-ben tárolt Kc-val), az A5 algoritmus a TDMA-keret sorszám-ot is felhasználva előállít egy 114 bites titkos

bitsorozatot. A burstben található 114 darab felhasználói bit XOR (kizáró vagy) kapuk bemeneteire kerül a titkosított sorszám egy-egy bitjével, a kapu kimenetén előállítva a titkosított adatot (4. 4. ábra). A vevoállomáson, az adat visszafejtésékor ugyanez a titkos bitsorozat kerül a titkosított adattal a XOR kapukra. Egy biztonsági elonye van ennek a titkosítási metódusnak: a titkosítási kulcs minden hívás alkalmával cserélődik, és a rádiós átvitelben se nyíltan, se titkosítva nem szerepel.

Az A3 és A8 algoritmusok titkosak, és csak a MoU-tagoknak áll rendelkezésükre. (MoU: Memorandum of Understanding, amelyet 1987 szeptemberében 13 ország írt alá, s amelynek értelmében elhatározás született az új összeurópai digitális rendszer bevezetésére.) Ráadásul az eredeti A5 algoritmus, amely csak az ETSI-hez tartozó országokban lévő GSM-vezérlok rendelkezésére áll, általában nem hozzáférhető az Európai Közösség országain kívüli országokban.



4.4. ábra. A titkosítási folyamat

A Ciphering Key Sequence Number (CKSN) a következő módon használatos: az MSC/VLR-ből küldött autentikáció kérés a RAND-ból és a CKSN-ből állt, a CKSN a VLR-ben a Kc-vel együtt van eltárolva. Amikor az MS veszi az autentikáció kérést, kiszámítja a SRES-t és a Kc-t, és a Kc-t a CKSN-nel együtt a SIM-en eltárolja.

Ha az MS be akar lépni a rendszerbe, felküldi a CKSN-jét egy kiszolgáláskérés üzenetben. Így az MSC tudja, melyik Kc van tárolva a mobilban, és nem kell elküldenie a RAND-ból álló autentikáció kérést. Helyette az MSC egyenesen a titkosítási eljárást indítja.

A mai számítógépek lehetővé teszik, hogy másodpercenként 1 millió kulcsot tudjunk tesztelni. Egy titkosító algoritmus erősségének meghatározásakor a védendő információ

értékét is figyelembe kell venni. A GSM-ben használatos 128 bites titkosítási kulcs (Kc) minden beszélgetés alkalmával cserélődik, ezért kello biztonságot nyújt felhasználójának

4. 3. Készülékazonosítás

A készülék azonosítása az IMEI adminisztráció használata, amely lehetővé teszi a rendszer számára, hogy ellenőrizhesse a mobil készülékek azonosságát (pl. feljelentkezéskor). Az IMEI ellenőrzésének célja a lopott vagy jogosulatlan készülékek kiszűrése a rendszerből. Azt, hogy kell-e készülékazonosítás vagy sem, a rendszer dönti el, de a GSM javasolja minden hívás beállításakor.

A mobil készülékek azonosító adatait a készülékazonosító regiszter tárolja (Equipment Identity Register - EIR). Az EIR egy funkcionális adatbázis, amely biztosítja a PLMN vezérletnek azt a lehetőséget, hogy letilthassa a lopott mobil készülékeket, vagy azokat, amelyek nem felelnek meg az üzemeltetési követelményeknek (pl. nincsenek jóváhagyva vagy hibásak). Minden egyes GSM mobilkészülék rendelkezik egy egyedülálló IMEI azonosítóval. Az EIR az IMEI-t a mobil készülékek osztályozására használja, eszerint léteznek fehér, szürke és fekete listás készülékek:

Fehér lista: minden résztvevő GSM ország IMEI számának listája. A lista csak a TAC (Type Approval Code) 6 digitjét tartalmazza. Ez csökkenti az EIR adatbázis tárolási követelményeit. *Szürke lista:* azok a jóváhagyott készülékek, amelyek nem működnek helyesen. *Fekete lista:* a lopott készülékek teljes IMEI-jét tartalmazza.

Az EIR hívásfelépítés (call setup) vagy a location updating alatt érhető el, ilyenkor a mobil állomás elküldi az IMEI-t a rendszerbe. Az ellenőrzés a fekete listával kezdődik. Ha az IMEI fekete listán van, a hívás le lesz tiltva, de a lopott készüléket használó személy IMSI-je is kimutatható, ez megkönnyíti a további teendőket. Ezután a szürke listával való összehasonlítás következik. Ha az IMEI szürke listás, az operátor választhat: vagy megtagadja az elérést, vagy megengedi, de ekkor feljegyzi az előfizető IMSI-jét. Végso esetben a rendszer az OMC-n keresztül jelenti le az IMEI-t és az IMSI-t. A PLMN operátor ilyenkor elindít egy korrekciós kezelési eljárást, és kapcsolatba lép a szürke listás készüléket használó előfizetővel. Ha az IMEI nincs se a fekete se a szürke listán, akkor összeveti a fehér listával, és engedélyezi a hívást.

4. 4. A rejtett előfizetői azonosság

A fejtett előfizetői azonosság azt jelenti, hogy az IMSI nem áll rendelkezésre, illetve el van zárva a jogosulatlan egyének és eljárások elöl. Ez az eljárás megvédi GSM/PLMN erőforrásokat használó előfizetők azonosságát, azaz megakadályozza, hogy rádiós jelzések megfigyelésével ki lehessen nyomozni egy mobil előfizető tartózkodási helyét.

Az eljárást az üzemeltető specifikálja, de most abból indulunk ki, hogy az MS bármely pillanatban kérhet egy rendszerfolyamatot (pl. location update, híváskezdeményezés vagy kiszolgáláskérés, stb.). Ilyenkor az MSC/VLR kiutal az IMSI helyett egy új TMSI-t, és továbbítja az MS-be azzal az utasítással, hogy o is utalja ki az IMSI helyett a TMSI-t. Az MS a SIM-en tárolja a TMSI-t és innentől kezdve az MSC/VLR és az MS közti jelzésátvitel csak a TMSI használatával működik, így a valóságos előfizetői azonosság (IMSI) nincs újra átküldve a rádiós részen. A rendszer csak akkor hivatkozik az IMSI-re, mikor elégtelen a location update, vagy amikor az MS számára nincs rendelkezésre álló TMSI.

Egyszerubb esetben csak akkor változik a TMSI, ha az előfizető új központkörzetbe lép át és az egészen addig változatlan marad, amíg az előfizető a központ kiszolgálási területén belül tartózkodik.

5. Forgalmi esetek

Ebben a fejezetben azokat az eljárásokat tanulmányozzuk, amelyek valóságos forgalmi körülmények alatt valósulnak meg. A forgalmi esetek tárgyalásához eloször rövid áttekintést adunk a GSM rendszer jelzés protokolljainak felépítéséről.

5. 7. A GSM-ben használt protokollok

A GSM rendszeren belül alkalmazott jelzések felépítése és átvitele a hétrétegu ISO-OSI referencia modell és a No. 7. Jelzésrendszer alapján történik. Ebben a könyvben nem feladatunk a ezek ismertetése, de kitérünk azokra a jellemzőkre, amelyeket a téma tárgyalásánál elengedhetetlenül fontosnak tartunk.

A jelzésfolyamatokban az egyik legfontosabb tényező, hogy minden PLMN HLR-je képes legyen információt cserélni rendszer összes PLMN-jében található MSC/VLR-el, tehát a roaming partnerek összes központjával. A HLR-nek ugyanakkor képesnek kell lennie párbeszédet folytatni az összes egyéb hálózati elemmel (entitással) is, mivel a hívás felépítéséhez szükséges az előfizető földrajzi helyzetének, valamint a rendszerhez való hozzáférési jogainak ismerete.

A különböző entitások közötti párbeszédre az alábbi protokollokat használják:

LAPDm: D csatornás módosított *Link Access Protocol*. Ha a SAPI=0, a csatornán hívásvezérlés (CC = Call Control), mobilitás kezelés (MM = Mobility Management), és rádiós erőforrás kezelés (RR = Radio Resource Management) jelzések mennek. Ha a SAPI=3, akkor rövid üzenetek küldése (SMS = Short Message Service) történik.

LAPD: D csatornás *Link Access Protocol*. Ha a SAPI=0, rádiós jelzések, ha a SAPI=62, üzemeltetési és fenntartási jelzések, és ha a SAPI=3, 2. rétegu management üzenetek átvitele történik a csatornán.

CM: *Communication Management*. Három szolgáltatásra bontható: Supplementary Services (SS), Call Control (CC), és Short Message Service (SMS).

BTSM: *Base Transceiver Station Management* (Bázisállomás menedzsment).

BSSAP: *Base Station System Application Part* (Bázisállomás rendszer alkalmazói rész), két részre osztható: Direct Transfer Application Part (DTAP, Közvetlen átviteli alkalmazói rész), és BSS Management Part (BSSMAP, Bázisállomás rendszer menedzsment rész).

A N°7-es jelzésrendszer részei

MTP: Message Transfer Part (Üzenet átviteli rész)

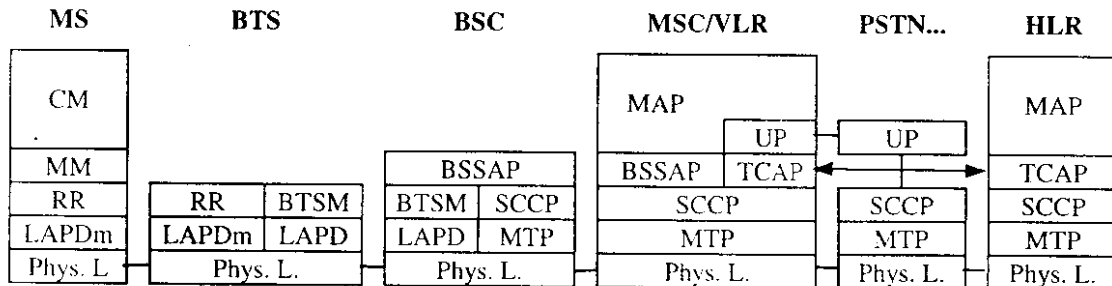
SCCP: Signalling Connection Control Part (Jelzés kapcsolatvezérlő rész)

TCAP: Transaction Capability Application Part (Lebonyolítási képesség alkalmazói rész)

UP: User Part (Felhasználói rész), az MTP-hez tartozó különböző felhasználói részek, ISDN User Part (ISUP), Telefon User Part (TOP), Mobile User Part (MUP), stb. összefoglaló neve.

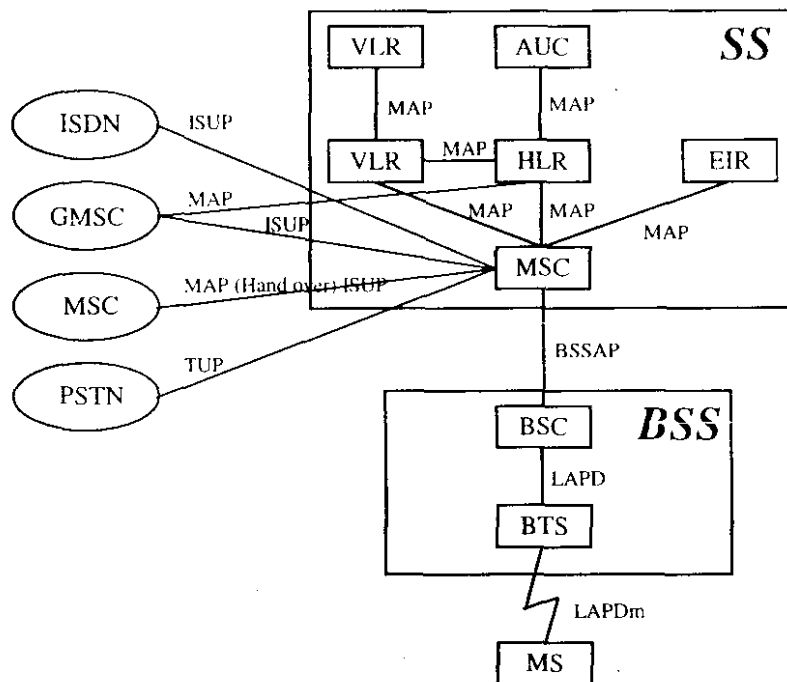
MAP: Mobile Application Part (Mobil alkalmazói rész). A különböző funkciók megvalósítására úgynevezett Application System Elements (ASE, Alkalmazói rendszer elemek) blokkokat tartalmaz.

A GSM jelzésstruktúrája az ISO-OSI referencia modell alapján épül fel, amelyet az alábbi összefoglaló ábrán mutatunk be.



5.1. ábra: GSM protokoll rétegek felépítése

Az MSC, VLR, HLR, EIR, AUC közötti párbeszédre alkalmazott protokoll része a Mobile Application Part-nak (MAP). A BTS és a BSC között a BSSAP protokoll, a BTS és az MS közötti információ átvitelre a LAPDm protokoll szolgál (5. 2. ábra). A SIM és az ME közötti SIM-ME protokoll az utasítások írására és olvasására van korlátozva.



5.2. ábra: A rendszerelemek közötti jelzések protokolljai

5. 2. Bekapcsolás, kikapcsolás

A mobil állomást (MS) a következő állapotokban találhatjuk:

MS kikapcsolva

Ebben az esetben a hálózat nem éri el a mobil előfizetőt, mert az, ki van kapcsolva. Természetesen ilyenkor az MS sem tájékoztatja a rendszert az esetleges Location Area változtatásról, tehát elvileg bárhol tartózkodhat, a rendszer nem tudja az, előfizető valóságos tartózkodási helyét.

Az MS bekapcsolva, Idle módban

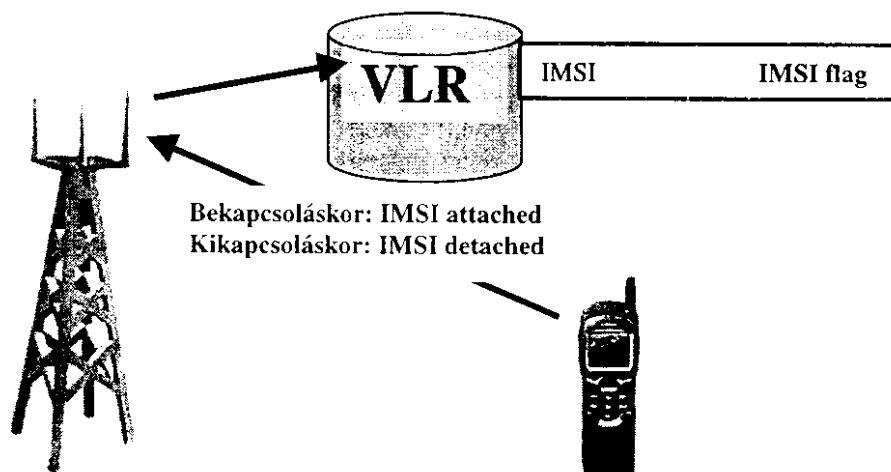
Az MS bekapcsolt állapotban van, figyeli a jelzéscsatornákat, hogy érkezik-e hívás (paging) felé. Az MS akkor kerül Idle módba, ha már sikeresen lezajlottak a bekapcsolás utáni hitelesítési, titkosítási, IMEI ellenőrzési eljárások. A mobil készülék ugyanakkor igyekszik mindig a legjobb BCCH vivőre hangolni, annak érdekében, hogy a későbbi kommunikációt is a lehető legjobb minőségben kezdje meg. Ha Idle módban az MS változtatja a helyét, a rendszert informálnia kell az esetleges Location Area váltásról is. Ezt nevezzük **Location Update**-nek.

Az MS forgalomban van, foglalt (Busy)

Ilyenkor az MS vagy egy forgalmi csatornát használ (pl. beszélgetés vagy adatátvitel alatt), vagy éppen egy dedikált kontroll csatornán (SDCCH) kommunikál. Ha az MS éppen mozgásban van, szükség esetén át kell tudnia hangolni egy másik TCH vagy SDCCH csatornára, amit a rendszer jelöl ki számára. Ezt folyamatot handover-nek (átadás) nevezik. Alapvetően két fajta eset létezik: Az MS idle vagy forgalmi állapotban van és egy meghatározott irányban mozog. Mindkét esetben a rendszernek szükséges, hogy értető kapcsolatot tartson a rádiós interfészen keresztül az átvitelben az MS-tól és felé.

IMSI attached, detached

Ha a mobil készülék be van kapcsolva és Idle állapotban van, a VLR előfizetői IMSI rekordján található úgynevezett IMSI flag (zászló), a bekapcsolt állapotot (attached) rögzíti. Ilyenkor hívás esetén a rendszer a PCH (Paging Channel) csatornán keresztül keresi a mobilt az ugyancsak a VLR-ben található LAC (Location Area Code) alapján megadott Location Area minden cellájában. Ha az IMSI flag azt jelzi, hogy a mobil ki van kapcsolva, a keresés (paging) nem történik meg, hanem például átirányítás esetén a hangpostára kapcsol a rendszer. Ha nincs semmilyen átirányítási opció megadva, a hívó fél telefonjára pl. a következő hangüzenet érkezik: „A hívott szám jelenleg nem elérhető.”



5.3. ábra: IMSI attached, detached jelzései

Amikor kikapcsoljuk a készüléket, a telefon még elküld egy utolsó üzenetet a rendszernek, amiben jelzi, hogy kikapcsolt állapotba került (5. 3. ábra). Ekkor az IMSI flag detached (lekapcsolt) állapotba kerül.

A periodikus regisztráció

Ha a készüléket akkor kapcsoljuk ki, amikor túlságosan rossz a rádiós szakasz átviteli minősége, a kikapcsolási üzenetet nem tudja a rendszer feldolgozni (pl. lefedetlen területen tartózkodunk). Ez azt jelenti, hogy az IMSI flag állapota nem a valóságos állapotot tükrözi, azaz még mindig bekapcsoltnak tekinti a mobilkészüléket. Ugyanez az eset akkor is előfordulhat, ha pl. leejtjük a telefont, és kiesik az akkumulátor, vagy esetleg tönkremegy a készülék. Ha bizonyos időn belül semmiféle esemény nem történik a mobil előfizetivel kapcsolatban és az IMSI flag bekapcsolt állapotot jelez, a rendszerben „gyanút kelt a nagy csönd”. Az IMSI flag állapotának idonkénti megerősítésére alkalmazzák a periodikus regisztrációt. Az eljárásnak az a lényege, hogy a rendszer által előre megadott időközönként a telefonnak be kell jelentkeznie, még akkor is ha igazából semmi sem történik vele (nincs hívásfogadás, kezdeményezés, location update, stb.). Ha a regisztráció nem sikerül, a rendszer az MS-t kikapcsoltnak tekinti, azaz az IMSI flag detached állapotba kerül. Ezt implicit detach-nek is nevezik. A periodikus regisztráció gyakoriságát az üzemeltető definiálja, 30 perctől néhány óráig változhat.

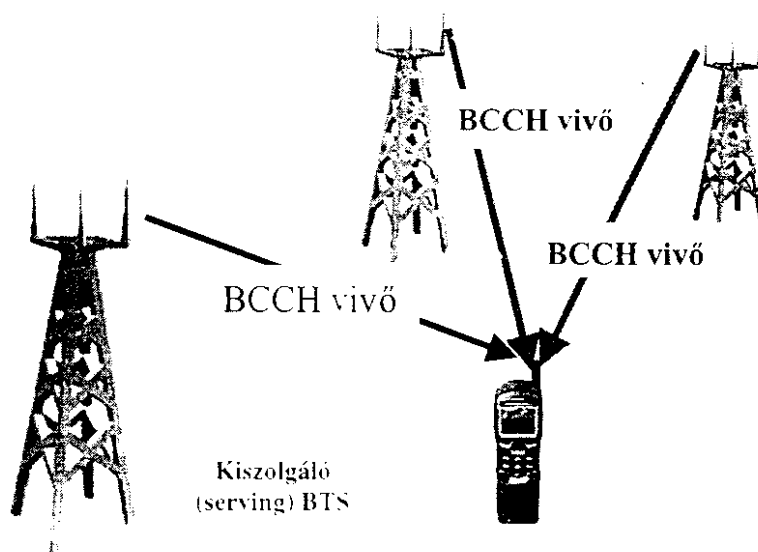
5. 3. Roaming (bolyongás)

Mivel a mobilkészülék földrajzilag nincs helyhez kötve, különböző hálózatok (PLMN) nyújthatnak szolgáltatást egy adott ügyfélnek, attól függően, hogy hol tartózkodik. Ha a különböző hálózati szolgáltatók együttműködnek, lehetőségük van a sajátjuknál nagyobb kiterjedésű földrajzi területet felajánlani a szolgáltatások igénybevételére. Ezt az együttműködést hívjuk roaming-nak. a szolgáltatók közötti megállapodások pedig a roaming szerződések. A szolgáltatóknak meg kell állapodniuk a számlázási, előfizetési díjakról, a kapcsolat kiépítésének módjáról és a szolgáltatások biztosításáról. Mivel a mobil készülék az egész GSM rendszerben szabadon mozog, és többféle készüléktípus van használatban, a szabályozó testületeknek meg kell állapodniuk a készülékek típusának kölcsönös elismerésében is. A roaminghoz ugyancsak elengedhetetlenül szükséges az MS aktuális helyét

tartalmazó információ átvitele, tehát igen fontos a HLR és VLR-ek közötti adatforgalom megszervezése, ami egy közös hozzáférési felületet jelent a No. 7 jelzésrendszer és az OSI rétegek segítségével.

5. 4. Cellaválasztás

Idle módban a mobiltelefon azon munkálkodik, hogy mindig a lehető legjobb minőségű kapcsolatot keresse meg mozgása során. Ebben a bekapcsolt, de várakozó állapotban, az MS-nek mozgás közben folyamatosan ellenőriznie és biztosítani kell, hogy a legjobban vehető (legjobb vételi szintű) BCCH vivőre legyen csatlakozva. Mivel minden cellában csak egy BCCH vivo található, ez pedig egy BTS-hez tartozik, a mobil ezt a cellát tekinti aktuális "kiszolgálónak" (serving cell). Ennek érdekében a telefon folyamatosan méri a detektálható BCCH vivók vételi jelszintjét, ugyanakkor rangsorolja azokat (5. 4. ábra). A rangsorban az első helyen álló BCCH vivo 0. idorésére „akaszodik” és onnan olvassa a hálózat felől érkező általános adatokat (pl. LAI, hálózatkód stb.), és figyeli a PCH-n jövő paging üzeneteket, hogy érkezik-e felé keresési üzenet. Ha igen ezen a BCCH vivon történik a hívásra adott válasz elküldése is, és ha a hívás felépítése közben nem romlanak el a mutatók a beszélgetés is a serving cellához tartozó TCH-n kezdődik el. A mobiltelefon általában nyolc vivo mérési eredményét tudja egyszerre eltárolni és feldolgozni. Mozgás során egyik cellából a másikba lépegetünk, ezért gyakorlatilag állandóan változik a BCCH vivo is. Ha kétsávós a készülék (900 és 1800) akkor is a legjobb minőségű vivőre hangot. Ha az összes vett BCCH vivo vételi szintje egy meghatározott minimum alá esik, a vevő érzékenysége pedig már nem növelhető tovább, a készülék elveszti a kapcsolatot a rendszerrel.



5.4. ábra: BCCH vivók mérése és a kiszolgáló (serving) cella kiválasztása

5. 5. A mobil előfizető helyének nyilvántartása és a location update

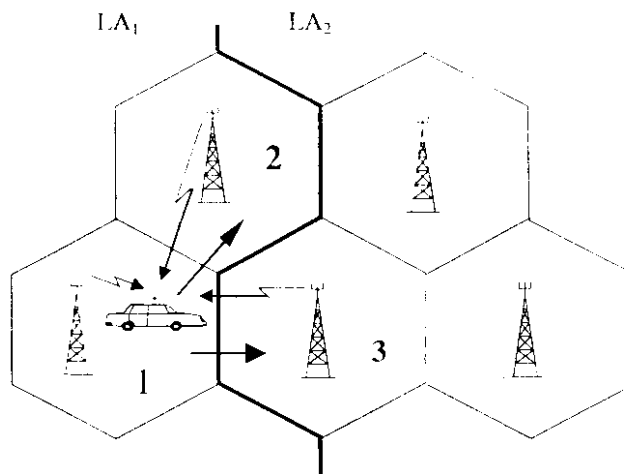
A GSM hálózatnak ismernie kell a mobil előfizető földrajzi helyét, mivel csak annak ismeretében képes az MS-hez irányítani az adott előfizető felé irányuló hívásokat. A helynyilvántartás bonyolult adminisztrációs feladatokat ró a GSM hálózatra, ha arra gondolunk, hogy több százmillió előfizető nyilvántartásáról van szó. A nyilvántartás első szintje a HLR-ben valósul meg, ahol a szolgáltató minden honos előfizetőjét nyilvántartja. Az előfizetői rekord egyik adata (location) tartalmazza annak az MSC/VLR-nek az azonosítóját,

ahol az előfizető legutoljára regisztrálva volt. Ez a kód végeredményben bármelyik roaming partner hálózatában található VLR-eket jelentheti. Ha a szolgáltató előfizetője felé hívás érkezik, a jelzéseket először a HLR-be irányítja a rendszer, ahol a hívószám alapján kikeresik az IMSI-t majd az IMSI-hez kapcsolódó adatbázisból a VLR kódját.

Ebből a rendszer tudja, hogy a honos előfizető a világ melyik országában, melyik szolgáltató hálózatában és azon belül melyik központban van bejelentkezve. Ezután a jelzéseket a kijelölt VLR-be irányítja a hívás felépítése céljából. Ha az előfizető másik központ körzetbe lép át, az új VLR gondoskodik arról, hogy a HLR-ben a helyadatok aktualizálva legyenek.

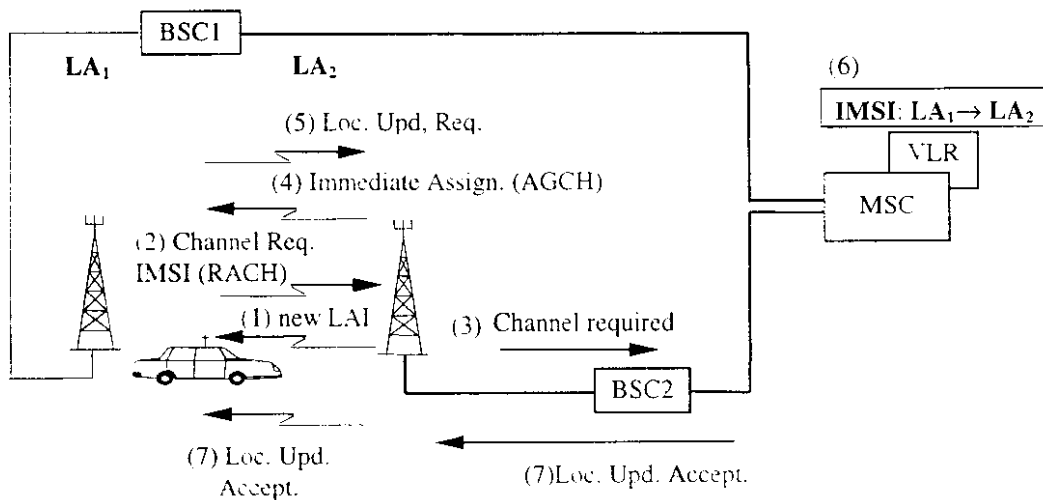
A nyilvántartás második szintje a VLR-ben történik. A központhoz kapcsoló MS ugyanis a VLR egyik rekordján van adminisztrálva és ott ugyancsak található egy helyadat, a LAI (Location Area Identity). A helymeghatározó körzetek, vagy location area-k azok a legkisebb területi egységek, amelyek azonosítója (LAI) alapján az MS a rendszerben nyilván van tartva. Ha az MS felé hívás érkezik, az adott location area-hoz tartozó összes BTS keresni fogja az előfizetőt. Ennél fogva, ha az előfizető a mozgása során a cellaváltással location area-t is vált, az MS-nek értesítenie kell erről a hálózatot. Ezt az eljárást nevezik location update-nek. A location update-nek valójában négy eltérő típusa van: normál, IMSI attach, IMSI detach, és periodikus location update. Az utóbbi háromról már esett szó ezért most csak a normál location update-el foglalkozunk.

Nézzük először azt az esetet amikor a cellaváltás a location area-n belül történik. Tételezzük fel, hogy a mobil idle és mozog egy állandó irányban. Amikor a mobil elhagyja a kiszolgáló BTS-t, a vett jel szintje csökken és a rádiós jel annyira elromlik, hogy a mobil új BCCH vivót választ, valamelyik szomszédos celláét. Az új BCCH-ra való áttérés a hálózat tudta nélkül történik, a mobil nem küld semmiféle jelzést a folyamatról a rendszer felé. Ezt az esetet lehet nyomon követni az 5. 5. ábrán, ahol esetünkben az átlépés az 1. és 2. jelu cella között történik.



5.5. ábra: A mobil cella váltása *location area*-n belül.

A második esetben a mobil a 2. cellából a 3. cellába lép át. A két cella most nem ugyanazon location area-hoz tartozik. Az új cella BCCH vivóján a rendszer folyamatosan küldi a location area azonosítóját (LAI), amit természetesen a mobil is detektál. Mivel a SIM kártyán az aktuális LAI el van tárolva, az MS összehasonlítja detektált éneket az eltárolttal. Ha a két paraméter nem egyezik meg, elindul a location update eljárás, azaz a mobil kezdeményezi a rendszer felé a helyadat frissítését a VLR-ben. A jelzésváltások folyamatát a 5. 6 ábra segítségével magyarázzuk meg.



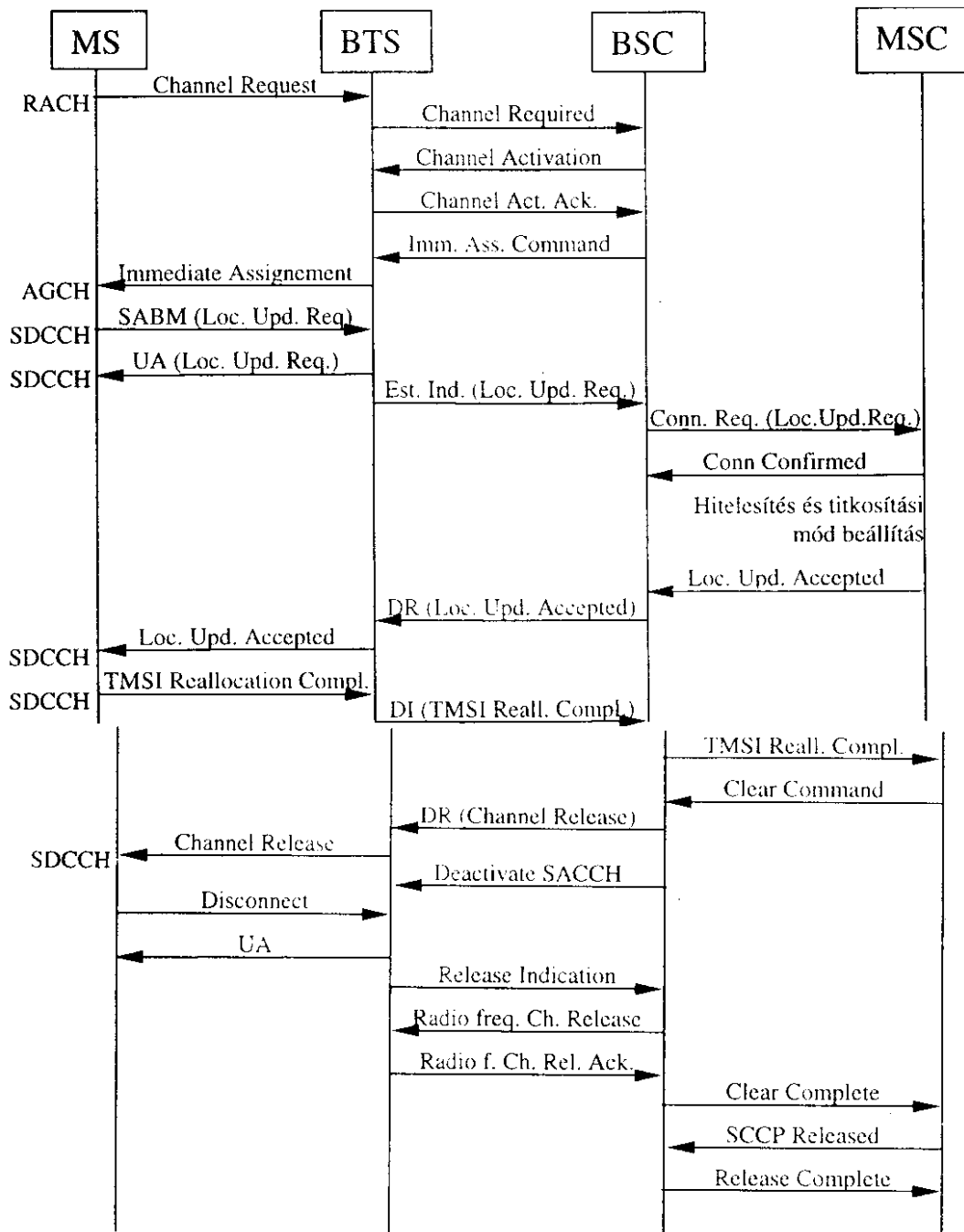
5.6. ábra: Központkörzeten belüli location update

Location update MSC/VLR szolgáltatási területen belül

A fenti esetben az MS egy normál location update-et fog végrehajtani, amit eröltetett regisztrációnak is neveznek. Mivel most nem történik MSC/VLR váltás, a HLR nem lesz informálva az MS mozgásáról. A normál location update folyamat fő lépései a következők: a rádiós összeköttetés felépítése, a szolgáltatás kérése, a hitelesítés és a titkosítási mód beállítása, és végül a helyadat frissítés és annak nyugtázása.

Miután az MS észleli az új LAI-t (1). küld egy Channel Request (csatorna kérés) üzenetet a BTS-nek a RACH-on (Random Access Channel) keresztül (2). A BTS az üzenet vételekor a bázisállomás vezérlőnek (BSC) küld egy Channel Required (csatorna szükséges) üzenetet (3). Ha rendelkezésre áll egy szabad SDCCH, a BSC aktiválja a csatornát a BTS felé. Amikor a csatorna már aktiválva van, a BSC elküld az AGCH csatornán egy Immediate Assignment (sürgös kiutalás) üzenetet az MS-nek, ezzel jelöli ki számára az SDCCH csatornát (4). Az üzenet vételekor az MS rákapcsol a kiutalt SDCCH csatornára, és fölépíti a jelzés összeköttetést. Ezután az MS elküldi az MSC/VLR-nek a Location Updating Request (helyadatok frissítésének kérése) üzenetet (5), amely magában foglalja a titkosítási kulcs sorszámát (CKSN), az MS által tárolt régi LAI-t, az IMSI-t vagy a TMSI-t, és esetleg az IMEI-t. A hitelesítés után a VLR-ben az új LAI értéke felülírja a régebbit (6), majd a VLR egy Location Updating Accepted nyugtázó üzenetet küld vissza a mobilnak (7), hogy végrehajtotta a helyadat módosítást. Ezután a rendszer új TMSI-t allokal az MS számára, majd a kapcsolat lebomlik.

A részletes jelzésfolyamatot az 5. 7. folyamatábrán lehet nyomon követni.



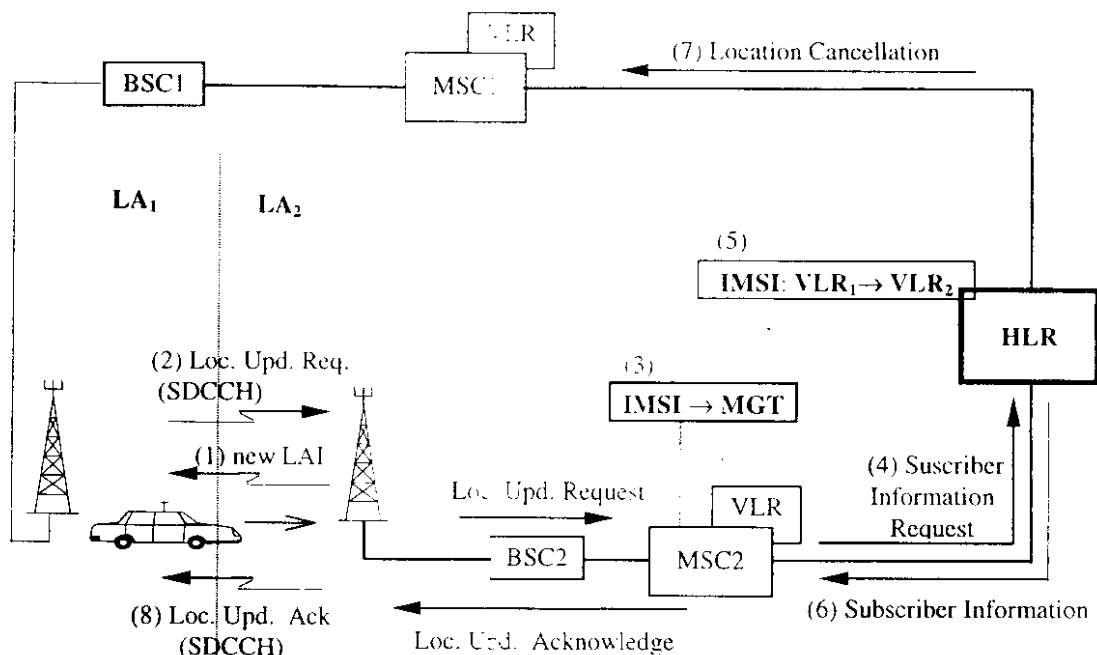
5.7. ábra: A location update jelzései normál esetben

MSC/VLR szolgáltatási körzetek közötti location updating

Most az MS folyamatosan mozog egy adott MSC/VLR-hez tartozó location area-ban lévő cellából, egy másik MSC/VLR-hez tartozó cellába. Az adott BCCH vivo jel szintjének csökkenése következtében az MS ráhangol a másik location area-ba tartozó cella BCCH vivojére, amely azonban egy másik MSC/VLR-hez tartozik. A folyamat ugyanúgy kezdődik, mint az előbbi esetben. Az MS észleli, hogy a vett LAI eltér a SIM kártyán tarolttól, és kér egy location update-et. Mivel a mobil előfizető ismeretlen az új MSC/VLR-ben, azaz még nincs regisztrálva, az új VLR, frissíteni kell a HLR-ból lekérdezett előfizetőhöz tartozó

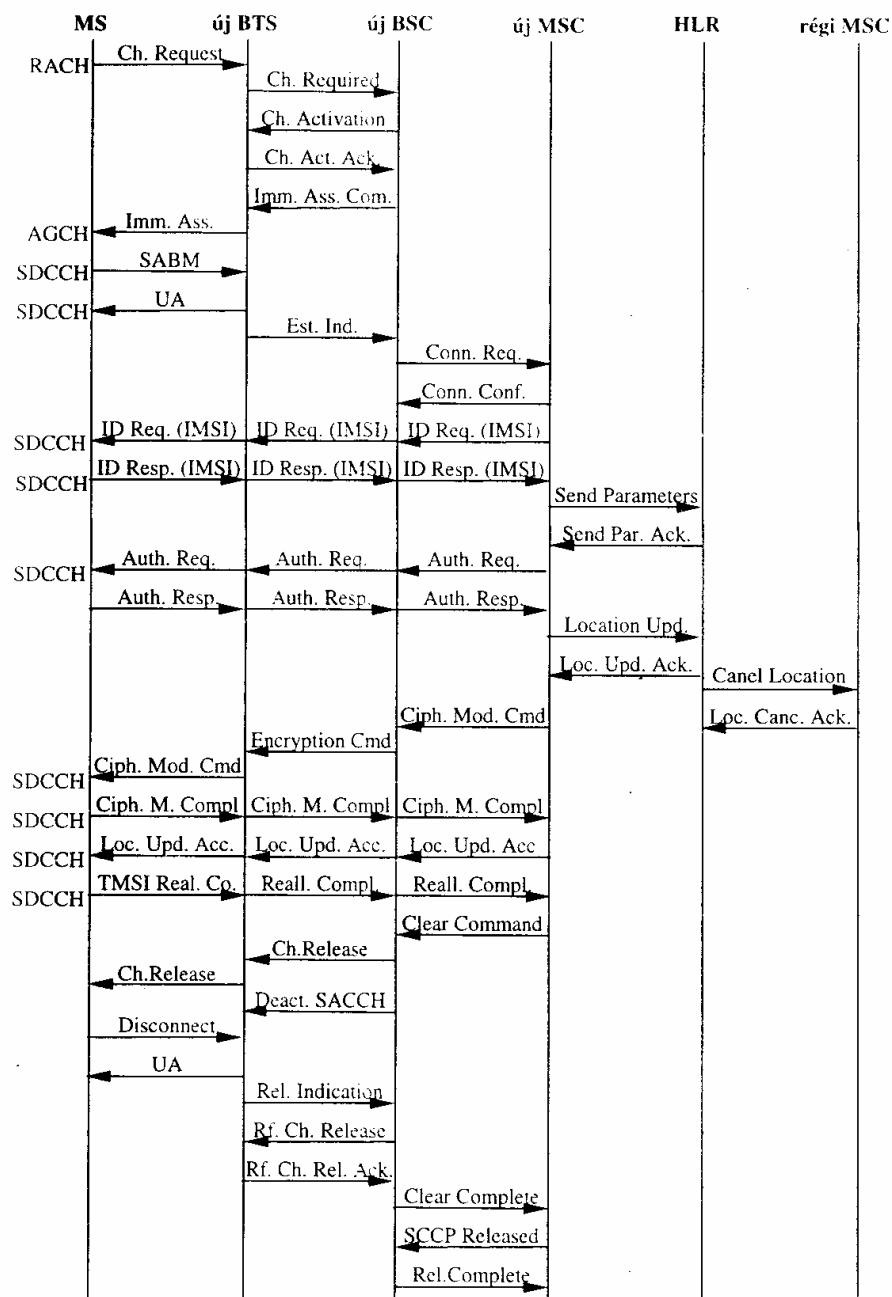
információkkal. Ilyenkor egy új előfizetői rekord keletkezik a VLR adatbázisában, és az elküldött LAI is már itt lesz regisztrálva.

Nézzük meg a folyamatot egy kicsit részletesebben az 5. 8. ábra alapján. Az előző esetben részletesen ismertetett köztes lépéseket most kihagyjuk, az ábrán látható (2)-ben folytatjuk a magyarázatot. Ez az üzenet tartalmazza a régi LA-hoz tartozó TMSI-t és LAI-t, valamint hogy a location updating normál típusú. A BTS veszi az üzenetet, visszacsatolja azt az MS felé, majd elküldi a BSC-nek is. Az üzenet vételekor a BSC fölépíti az összeköttetést az MSC-vel, majd az MSC ezután továbbít egy Location Updating Request üzenetet a VLR-nek. Mivel az előfizető TMSI-je ismeretlen a VLR számára, az nem tudja azonosítani az előfizetőt, ezért kér egy IMSI számot az MS-től, majd végrehajt egy IMSI szám analízist.



5.8. ábra: Location update az MSC/VLR körzetek között

Az analízis eredménye többek között az IMSI-nek egy módosítása, az MGT (Mobile Global Title), amelyet a HLR címzésre használ (3). Az analízis után az MSC/VLR a HLR-ból lekéri az MS előfizetői információit (4). A HLR tárolja az új MSC/VLR címét (5), és egy Send Parameters Acknowledge üzenettel válaszol, amely tartalmazza az előfizetői információkat is (6). Az üzenet vétele után az új MSC/VLR azonosítja az előfizetőt, majd küld egy Location Update üzenetet a HLR-nek. A HLR az adatok frissítése után a régi MSC/VLR-nek egy Location Cancellation üzenetet továbbít, amelyben utasítja, hogy törölje az előfizető adatait (7). Az utolsó lépés az, hogy az új MSC/VLR a titkosítás elindítása után küld az MS-nek egy Location Updating Accepted üzenetet, mely tartalmazza az új TMSI-t is (S). Az üzenet vételekor az MS a TMSI Reallocation Complete üzenettel jelzi az új MSC-nek, hogy tárolta a TMSI-t. Ezután már csak a kapcsolatok lebontása marad hátra. Az 5. 9. ábrán lévő folyamat részletes jelzészváltásainak tanulmányozását ezután az olvasóra bízunk.



5.9. ábra: Location Update jelzésfolyamata MSV/VLR körzet váltáskor

5. 6. A handover

Amikor a rádiós hálózaton egy forgalmi csatorna (TCH) ki van utalva az előfizetnek és azon kommunikáció zajlik (adat vagy beszédátvitel), a mobil készüléknek képesnek kell lennie mozgás közben is csatornát váltani a jó minőségű kapcsolat biztosítása érdekében. A hívás vagy hívásfelépítés alatt történő mozgás közbeni csatornaváltást handover-nek hívják.

A csatornaváltás csak úgy történhet meg, ha a beszélgetés vagy hívás felépítése alatt, az MS folyamatosan méri a kiszolgáló és szomszédos cellák paramétereit, összeállít egy mérési beszámolót, és azt elküldi a BTS-nek. A BTS ezután a saját mérései eredményeivel együtt továbbküldi a BSC-nek kiértékelés céljából.

A BSC-ben a mérés kiértékelése az úgynevezett locating (elhelyezés) eljárás. Ha a BSC talál egyet a szomszédos cellák közül, amelynek számottevően jobbak a mobil által detektált jelszint értékei, mint a kiszolgáló celláé, vagy ha a kiszolgáló cellában az alkalmazott csatorna bithiba aránya (BER) vagy a késleltetés elér egy bizonyos küszöbszintet, a BSC elindít egy handover eljárást.

A handover-nek három fajtáját különböztethetjük meg:

Az első fajtája az úgynevezett **"rescue" handover** (sürgős handover), amelynek az a célja, hogy elkerüljük az összeköttetés megszakadását az MS mozgása közben. Egy szélsőséges formája a rescue handover-nek a hívás újrafelépítése, amelyben a mobil készülék megpróbálja megmenteni az összeköttetést, miután elvesztette a kapcsolatot a kiszolgáló cellával. A rescue handover fő kritériuma az átvitel jó minőségének fenntartása a folyamatos összeköttetés biztosítása érdekében, mind uplink, mind pedig downlink irányban. Az átvitel minőségéről a legértékesebb információt akkor kapjuk, ha a rádiós kapcsolatban résztvevő mindkét fél által mért értékeket kiértékeljük. Digitális átvitelnél a minőséget az átvitel bithiba aránya jellemzi (BER). A másik, bár nem ennyire fontos kritérium a terjedési késleltetés. Az átvitel a GSM rádiós interface-en nem tartható fenn nagy terjedési késleltetéssel, az összeköttetés megszakadhat. Ez az eset csak nagyméretű cellában fordulhat elő. Az MS és a BTS rendszeresen méri az átvitel minőségét, a vételi szintet, és a távolságot, és az MS másodpercenként egyszer-kétszer elküldi a mért értékeket (measurement report) a BTS-nek.

A handover második fajtája a **"traffic" handover** (forgalmi handover). Ez akkor fordulhat elő, ha a cella túlzsúfolt, túlterhelt, amíg a szomszédos cellákban még akad szabad csatorna. A zsúfoltság különleges események (vásárok, sport rendezvények, tüzijáték, stb) helyszínén fordulhat elő. Mivel a szomszédos cellák gyakran átfedik egymást, néhány hívást átadnak egy kisebb forgalmú cellának, ezzel átmenetileg javítva a zsúfoltság helyzetét. Az az MS fog eloszórni a traffic handover végrehajtani, amely egyébként is, más okokból a legközelebb áll a handover-hez. Ennél fogva a traffic handover más handover fajták kritériumaira, és a megfelelő mérésekre hagyatkozik.

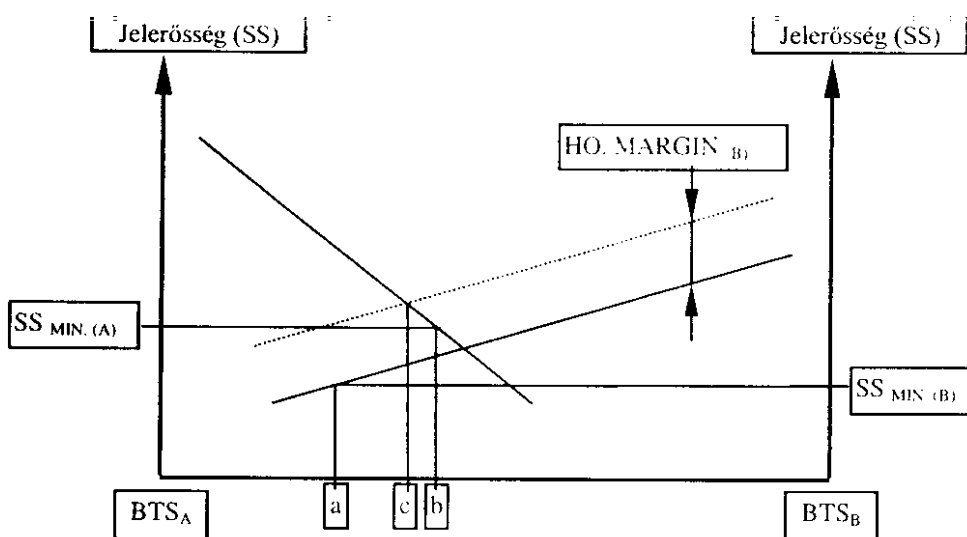
A handover harmadik fajtája a **"confinement" handover** (kényszerített handover), amelynek célja a zaj szintjének optimalizálása az átvitel során. Ezt akkor használják, amikor az átlagos zajszint jelentősen megnövekedett, ha az MS egy másik cellához csatlakozna, de a számítások azt mutatják, hogy a kiszolgáló cella jobb a zajszint szempontjából. Ez az állítás különösen igaz lehet teljesítményszabályozás használatakor. A confinement handover megakadályozza a mobil készülék kivándorlását az optimális egyenletes sugárzású cellából, ha az összeköttetés megfelelő minőségű, de ez összeütközésben lehet az átvitel minőségének helyi optimalizálásával. A confinement handover kulcskritériuma, hogy az uplink és downlink átvitel minősége megfelelő legyen minden szomszédos cellában, amelyben az MS összeköttetésben lehet a BTS-sel. Mivel elég nehéz információt kapni a szomszédos cellákról, a handover eljárás a GSM-ben beéri az MS és néhány szomszédos cella

közötti összeköttetés veszteséssel. A valóságban csak downlink irányban mérik az értékeket, feltételezve, hogy az összeköttetés vesztesége egyenlő mindkét irányban.

Hiszterézises és hiszterézis nélküli handover

Handover történhet hiszterézissel, vagy hiszterézis nélkül. A bázisállomások a cella terület nagyságától függően különböző teljesítménnyel sugároznak. Ha a két szomszédos cellában a BTS adási teljesítmények nagymértékben különböznek, előfordulhat, hogy az egyik cellában már megfelelő a kapcsolat jó minőségű fenntartásához, de ugyanez az érték a másik cellában már nem elfogadható.

Az 5. 10. ábrán az MS BTSA irányából BTSB irányába mozog. Az 'a' és 'b' pont között bármikor megtörténhet a handover folyamata, mivel a fogadó cellában már megfelelő a térő. A hiszterézis nélküli handover esetében a handover a 'b' pontban fog bekövetkezni, amikor a kiszolgáló cella térője eléri a minimum szintet. Ez azonban kockázatos lehet, mert a térő csökkenésével az átvitel minősége annyira leromlik, hogy az MS már nem képes befejezni a handover-t, és az összeköttetés megszakad.



5.10. ábra: Hiszterézis nélküli és hiszterézises handover

A handover biztonságos befejezése érdekében bevezették a handover hiszterézis paramétert (HO. MARGIN), amely a különböző bázisállomásokra különböző lehet. A hiszterézises handover a 'c' pontban fog bekövetkezni, amikor a BTSA térője már meghaladja a minimum szintet, és a BTSA térője még lehetővé teszi a handover folyamat teljes lebonyolítását.

5. 6. 1. Handover mérések

A handover végrehajtásához az alábbi paraméterek meghatározása szükségesek:

- Az MS valós időben méri:
 - a downlink irányú átviteli minőséget (BER),
 - a downlink irányú vételi szintet az aktuális csatornán, (RSL)
 - a downlink irányú vételi szintet a szomszédos cellákon;
 - az MS - BTS távolságot (késleltetési idő):
- A BTS valós időben méri:
 - az uplink irányú átviteli minőséget,
 - az uplink irányú vételi szintet az aktuális csatornán,
 - az MS - BTS távolságot (késleltetési idő);

A vett jel szintjének (RSL: Received Signal Level) dinamika tartománya -103 dBm és -41 dBm közötti. A mérés pontossága ± 1 dB bármely 20 dB-es tartományban, és ± 4 dB a teljes dinamika tartományban, normál körülmények közön. A mért értékeket átlagolják, és az RXLEV paraméter értékét ennek alapján 0 és 63 közötti értékekben, 6 biten kódolják:

RXLEV = 0, ha a vett jel szintje $RSL < -103$ dBm,
 RXLEV = 1, ha, $-103 \text{ dBm} < RSL < -102$ dBm,
 RXLEV = 2, ha $-102 \text{ dBm} < RSL < -101$ dBm,



RXLEV = 63, ha $RSL > -41$ dBm

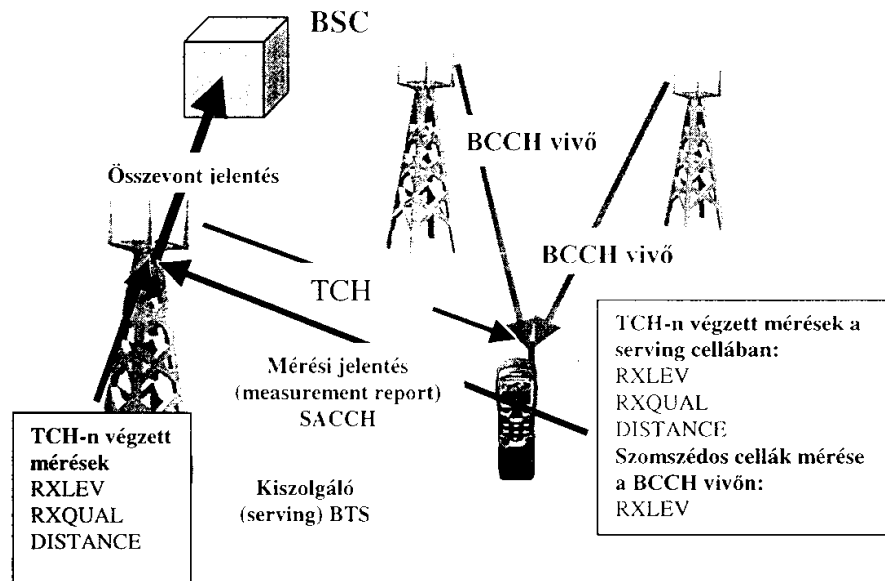
A vett jel minőségét jellemző paramétert, az RXQUAL-t a bithiba arányból (BER) lehet meghatározni. Az RXQUAL 8 értéket vehet fel a BER értékének megfelelően:

RXQUAL = 0, ha $BER \% < 0,2$
 RXQUAL = 1, ha $0,2 < BER \% < 0,4$
 RXQUAL = 2, ha $0,4 < BER \% < 0,8$
 RXQUAL = 3, ha $0,8 < BER \% < 1,6$
 RXQUAL = 4, ha $1,6 < BER \% < 3,2$
 RXQUAL = 5, ha $3,2 < BER \% < 6,4$
 RXQUAL = 6, ha $6,4 < BER \% < 12,8$
 RXQUAL = 7, ha $BER \% > 12,8$

Az MS - BTS távolságát (DISTANCE) a késleltetési idővel mérik. A paramétert 6 biten ábrázolják, mely 0-70 km-es tartományt jelent 0-232, 6 μ s-os késleltetési idővel.

5. 6. 2. A mérési beszámoló (measurement report)

Ahhoz, hogy handover sikeres legyen, a fenti paraméterek mérését és átlagolását gyakran el kell végezni. A GSM-ben definiált minimum kiértékelési arány másodpercenként egy, de ennél általában többször végzik el. Az MS-nek nem csak a kiszolgáló (serving) cellában kell mérni TCH vagy SDCCH-n, hanem a handover tekintetében minden szóba jöhető szomszédos cellából érkező jeleket (BCCH vivóket) is átlagolnia kell. A mérésekről szóló jelentést (measurement report) a BTS-en keresztül bizonyos időközönként elküldi BSC-nek további feldolgozás céljából. A BTS is méri a használt csatornán a fenti jellemzőket, majd továbbítja a BSC-nek (5. 11. ábra)

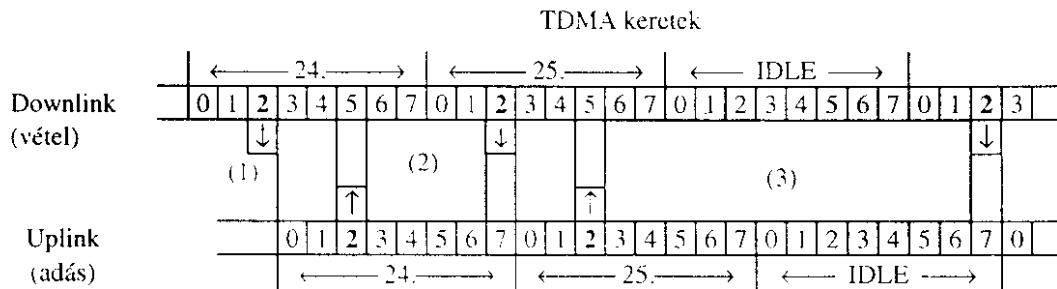


5.11. ábra: A mérési jelentések összeállítása és elküldése a BSC-be

A mobilkészülék által mért adatok a forgalmi csatorna multikeretében található SACCH (Slow Associated Control Channel) csatornán kerülnek továbbításra, minden multikeretben egy idorésben.

5. 6. 3. Szomszédos cella mérése

Az alábbi ábrán a downlink és az uplink irányban haladó TCH multikeret felépítését lehet látni. Ebben a példában az MS a 2. idorésben ad és vesz. Az adás és vétel között 3 idorés eltolás van, hogy a készülék vételből adásba tudjon kapcsolni. A kiszolgáló cellában a vett jel jellemzőit az MS a számára kiutalt idorés vétele alatt (1), a szomszédos cellák BCCH vivót pedig az uplink burst adása és a downlink burst vétele közötti idő intervallumban méri (2).



5.12. ábra: Uplink és downlink keretek a TCH multikeretben.

A mérések során az MS-nek különbséget kell tenni a szomszédos cellák jelzés csatornáit, és a lehetséges zavaró frekvenciák között. A hatékonyság érdekében, a mérésekkel a szomszédos cellák BCCH frekvenciáira kell korlátozni. Ennek érdekében a mobil a rendszer felől érkező SACCH-n tájékoztatást kap arról, hogy melyik BCCH vivókat kell figyelni a handover érdekében. A mérési jelentésben a már ismert paraméterek mellett a készüléknek azt is jeleznie kell, hogy a mért értékek milyen BSIC-hez tartoznak.

A BCCH vivók meghatározásához a készüléknek találnia kell egy frekvenciakorrekciós burst-öt a TDMA kereten belül, és rá kell húznia a helyes frekvenciára. Mivel a mobil állomás "ütemterve" nagyon szoros; ezért kevés idő marad a frekvenciakorrekciós burst detektálására. A fenti példában ez az idő csupán 4 időres időtartamát jelenti, ezalatt egy vagy két szomszédos cella BCCH vivójára tud hangolni.

A másik probléma a BSIC ellenőrzése. A 3. 8. fejezetben láttuk, hogy a BCCH vivo 0. időresében egymás utáni keretekben lehet az FCCH és SCH logikai csatornákat detektálni. A szomszédos cellák BSIC értékeit az SCH-án küldött információ tartalmazza ezért ebbe a csatornába is bele kell a hallgatni, de erre már több időre van szükség. A műveletet a multikeret végén lehet végrehajtani, hiszen ilyenkor egy olyan keret érkezik, amely csak Idle burst-öket tartalmaz. Mivel az MS ismeri az előző (2) fázisban mért BCCH vivo frekvenciáját, ezért könnyen rá tud hangolni az FCCH csatornára. Az Idle keret érkezésekor 12 időresnyi idő van arra, hogy az SCH csatornát is tudja detektálni, és onnan BSIC-t olvasni. (3)

A mérési jelentés hat szomszédos cellára vonatkozó mérési eredményt tartalmazhat, azonban a készülék hatnál több szomszédos cellával is végezhet eloszinkronizációt. Ebben az esetben csak annak a hat cellának a mérési eredménye lesz elküldve a BTS-nek, amelyeknek a legjobb a vételi szintje.

A hálózat jelezheti azokat a BSIC-eket, amelyek cellái felé a handover kizárt, ezért ezekre nem kéri a kiértékelést. Vegyük például azt az esetet, amikor két különböző PLMN celláiból is érkezhetnek elvileg értékelhető BCCH vivo információk. Mivel az első lépésben csak annak az eldöntésére van idő, hogy a detektált vivo BCCH vivo vagy sem, nem lehet tudni, hogy a jel melyik hálózat cellájából származik. Ez csak a BSIC kiértékelésekor derül ki, és nyilvánvalóan nem érdemes tovább mérni, ha másik PLMN cellájáról van szó, hiszen az eredeti hálózathoz tartozó cellába kell majd áthangolni.

Ahhoz, hogy a mérési eredmények felhasználhatóak legyenek a handover döntési folyamatban, a mért értékeket szűrni kell. A szűrés első lépését az MS végzi. Veszi minden egyes mért paraméter átlagértékét a kiértékelési periódus időtartamára. A második lépés, a hit hiba arány meghatározása a mérés minőségére, és a vételi szint dB-ben való kifejezése.

A mérés kiértékelése arra a mérési periódusra vonatkozik, amely alatt a mérés folyik. A mérési periódus időtartama rendszerint megegyezik az üzenet átvitel periodicitásával az SACCH-n (480 ms). A BSC a vett értékeket 32 SACCH kereten (= 15 s) keresztül átlagolja, és ennek alapján lesz meghatározva az RXLEV, RXQUAL, DISTANCE értéke. A szabad

idorésekben az MS mérheti az interferenciát, melynek értékeit egy PGBT (n) nevű paraméter tárolja.

5. 6. 4 Handover döntési folyamat

A handover döntési algoritmusok és a cél cella kiválasztása nincs pontosan meghatározva a specifikációkban. Található ugyan döntési algoritmus a specifikációban, de a kezelők és a gyártók a hozzáférhető paraméterek alapján, teljes szabadságot kaptak kifinomultabb algoritmusok megvalósítására.

A mért jellemzők kiértékelése után a BSC megvizsgálja, hogy a kapott RXLEV és RXQUAL értékek egy kívánt tartományba esnek-e, vagy sem. Ha nem, a BSC teljesítményszabályozással beállítja a kívánt teljesítményszintet. Ha a BTS és az MS által leadott teljesítmény már tovább nem szabályozható, és az átvitel minősége még így sem megfelelő, a BSC kiadja a handover parancsot. Ha a teljesítményszabályozás előtt, vagy után az RXLEV és az RXQUAL értéke a kívánt tartományba esik, megvizsgálja, hogy a mért paraméterek valamelyike nem-e esik a handover küszöbszint alá. Ha igen, szintén kiadja a handover parancsot. Ha egyik paraméter sem esik a handover küszöbszint alá, a BSC összehasonlítja az adott cella télerősségét a szomszédos cellák télerősségével. Ha a kiszolgáló cella télerőssége kisebb, mint a szomszédos celláké, vagy kiadja a handover parancsot a legjobbnak ítélt cellába, vagy újratekintheti a paraméterek vizsgálatát. Ha a kiszolgáló cella télerőssége nagyobb, mint a szomszédos celláké, megvizsgálja, hogy az interferencia szint nagyobb-e mint handover hiszterézis paraméter, ha igen, kiadhatja a handover parancsot.

5. 6. 5. A handover megvalósítása

Mint már láttuk, a handover eljárást, különböző okok válthatják ki. azonban az összes esetben a BSC dönt arról, hogy egy adott készülék végrehajtsa-e a handover-t, vagy sem. Az, hogy a handover hogyan lesz kezelve, attól függ, hogy melyik logikai entitás tartozik az a handover-ben szereplő cellákhoz. Négy eltérő esetet különböztetünk meg:

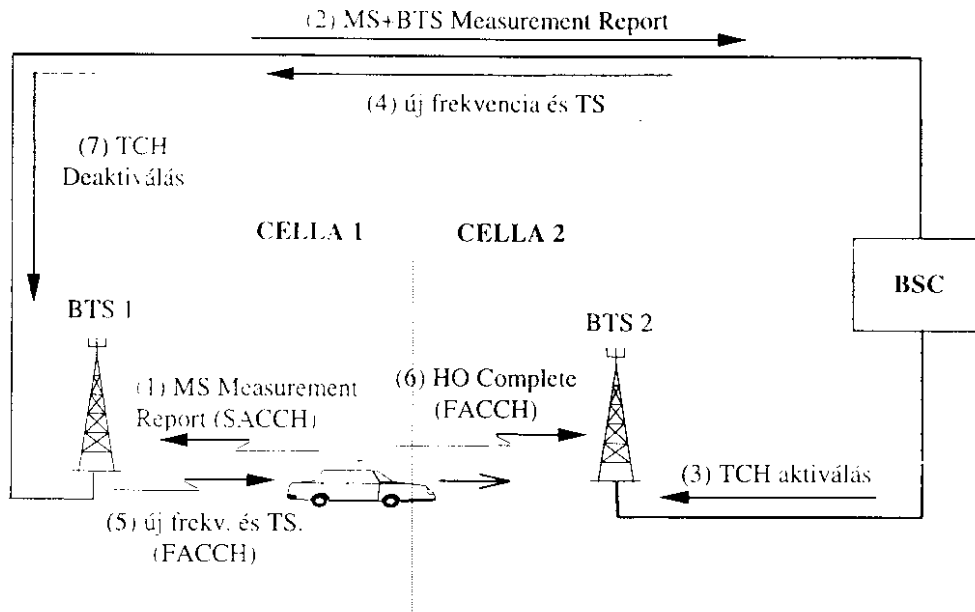
- Intra-Cell handover: Amikor a handover ugyanazon a cellán belül történik. Ezt az esetet a BSC kezeli.
- Intra-BSC handover: Mindkét cella ugyanahhoz a BSC-hez tartozik, ebben az esetben is a BSC fogja kezelni a handover-t.
- Inter-BSC handover Amikor a két cella két különböző BSC-hez, de ugyanahhoz az MSC-hez tartozik. Most a jelzéseket az MSC irányítja.
- Inter-MSC handover: amikor a két cella, két különböző MSC-hez tartozik. Ebben az esetben legalább két MSC van érintett a handover lebonyolításában.

Intra-Cell handover

Ebben az esetben a kiszolgáló cella ugyanaz, mint a cél cella. A handover eljárást azzal a céllal indítja a rendszer, hogy optimalizálja a vételi minőséget. A folyamatot az MS és a BTS által mért mérési eredmények alapján, a BSC vezérli. Ez akkor fordul elő, ha a környező cellákba történő átlépéskor az összeköttetés jobban leromlana, mintha az MS az adott kiszolgáló cellában maradna.

Intra-BSC handover

Ebben az esetben a BSC-nek fel kell építenie egy összeköttetést az új bázis állomással, le kell foglalnia egy új forgalmi csatornát (TCH), és utasítania kell a mobil készüléket, hogy váltson az új frekvenciára és idorésre. Az Intra-BSC handover esetében nem szükséges további -információt- küldeni a hálózat más elemei felé. Természetesen a handover után a mobilkészülék új információkat detektál a szomszédos cellákról, hiszen azok megváltoztak. Ha a cellaváltás egy új Location Area-ba való belépési is jelent, a hívás befejezése után location update-t kell végrehajtani.



5.13. ábra: Az Intra-BSC handover jelzései

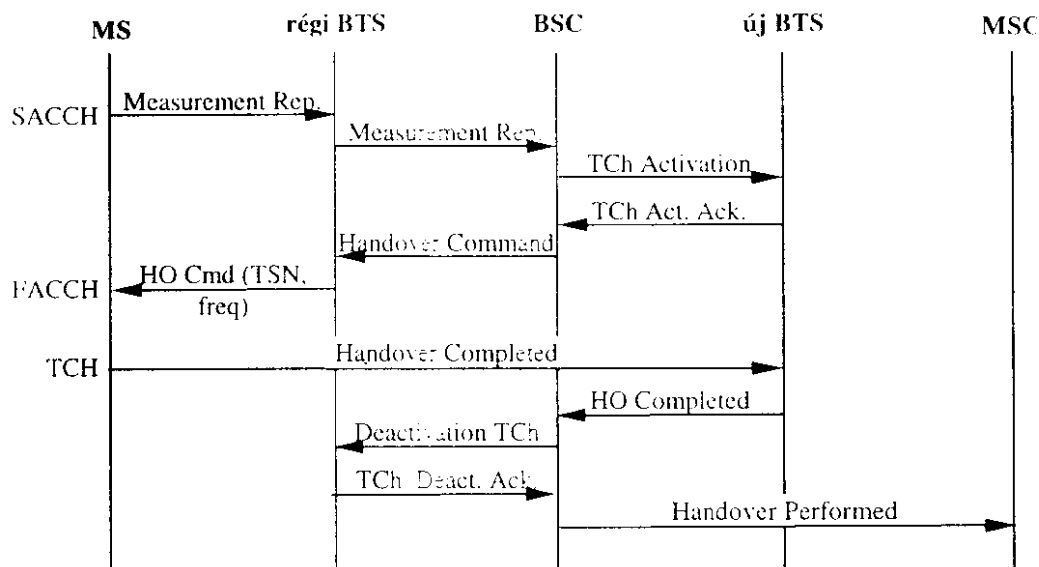
A jelzésfolyamatot az 5.13. ábrán lehet megfigyelni. A hívás alatt az MS méri a TCH minőségét és jel erősségét, valamint a szomszédos cellák jel erősségét. Az értékeket átlagolja, majd az általa legjobbnak ítélt szomszédos cellák mérési eredményeiből az SACCH-n elküld egy mérési jelentést a BTS-nek (1).

A BTS a TCH-n mért saját méréseivel együtt ezt a beszámolót elküldi a BSC-nek (2). A BSC kiértékeli a kapott jelentést, és szükség esetén dönt a hívás átadásról egy másik cellába. Abban az esetben, ha szükséges a handover, a BSC ellenőrizni, hogy van-e szabad csatorna a kiválasztott cél cellában. Ha igen, utasítja az új cella BTS-ét, hogy az aktiválja a TCH-t (3).

Ezután utasítja a régi BTS-t (4), hogy küldjön egy üzenetet az MS-nek az FACCH-n (Fast Associated Control Channel) keresztül, amely információt tartalmaz az új cellában használt frekvenciáról és idorésről (5). Ez a parancs a beszélgetés közben lesz elküldve olyan módon, hogy a Stealing Flag-ek jelzik, hogy a beszédinformációból biteket loptak el FACCH funkció céljára.

Miután az MS veszi az üzenetet, ráhangol az új frekvenciára és idorésre, és küld egy Handover complete (handover végrehajtva) üzenetet az FACCH-n (6). Az új BTS értesíti a BSC-t arról, hogy a handover eredményes volt. Végül a BSC utasítja a régi BTS-t, hogy deaktiválja a régi TCH-t (7).

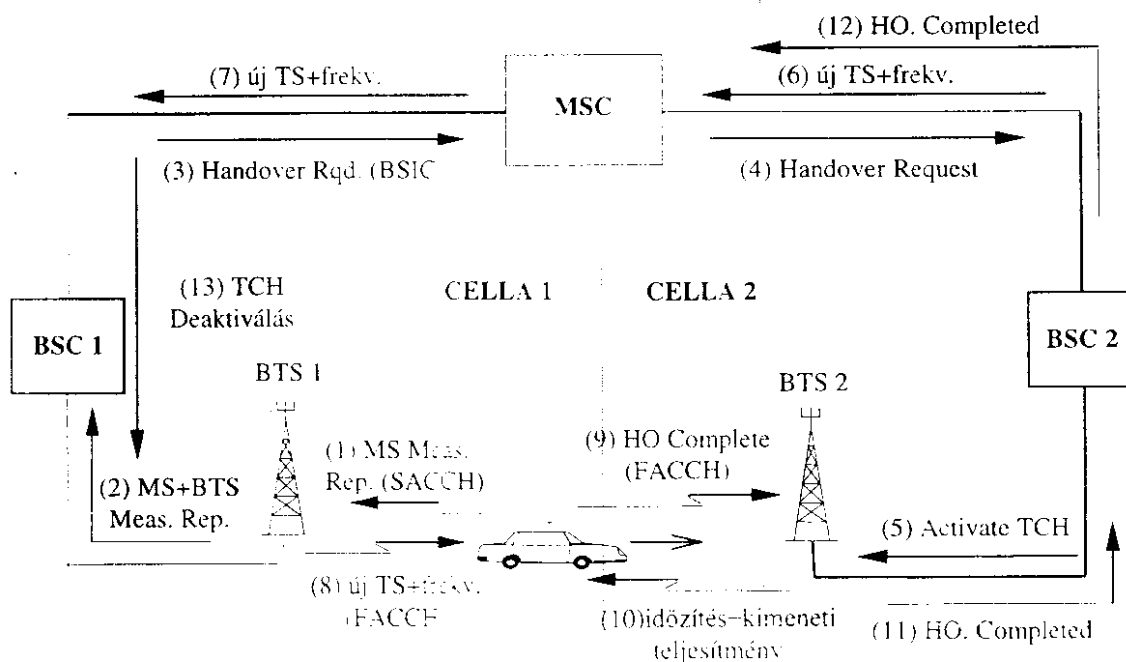
Az intra BSC handover eljárásban a BSC kezel mindent, az MSC-t csak arról értesíti, hogy handover lett végrehajtva. A jelzések folyamatábráját az 5.14. ábra szemlélteti.



5.14. ábra: Az Intra-BSC handover jelzésfolyamata

Inter BSC handover

Ebben az esetben a handover ugyanazon MSC/VLR körzeten belül, de különböző BSC-k között történik. Az előző példában megtett (1) és (2) kezdeti lépések után a régi BSC a mérési beszámoló alapján úgy dönt, hogy a hívást át kell-e adni egy új BSC-hez tartozó cellának, az új cella azonosítójával (BSIC) együtt küld egy Handover Required (handover szükséges) üzenetet az MSC/VLR-nek (3).

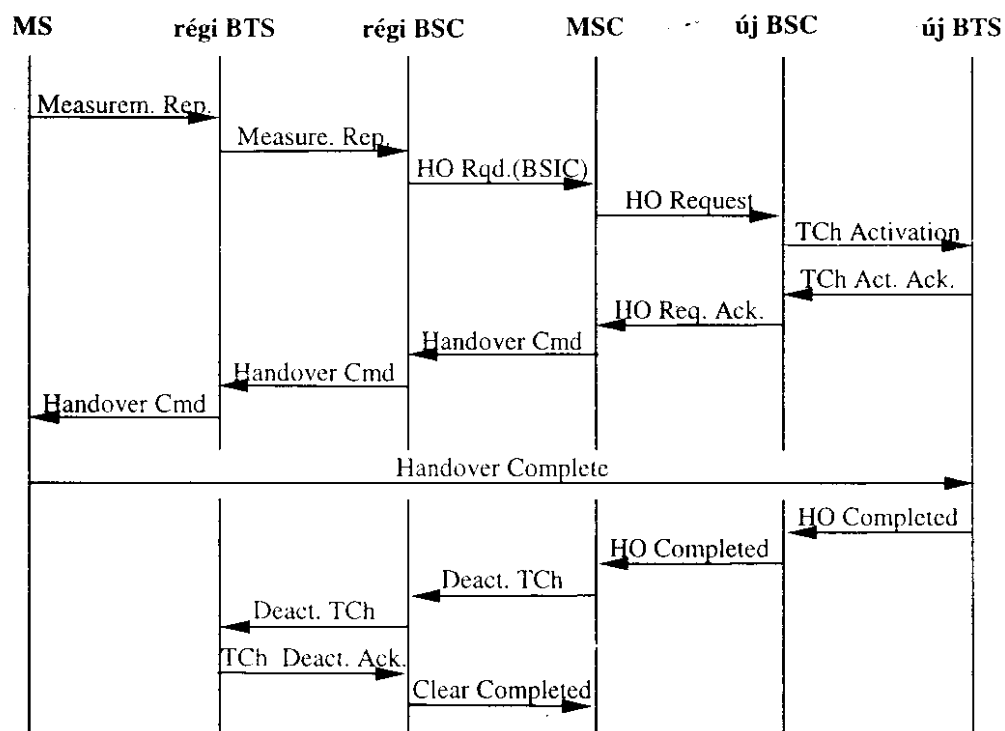


5.15. ábra: Az Inter-BSC handover lépései

Mivel az MSC/VLR tudja melyik BSC vezérli az új BTS-t, és küld egy handover kérést a fogadó BSC-nek (4). Ezután a/ új BSC utasítja az új BTS-t, hogy aktiváljon egy szabad a TCH-t (5).

Amikor az új BTS aktiválta a TCH-t, az új BSC elküldi az információt a kiosztott időről és frekvenciáról az MSC-nek, amelyet az továbbít a régi BSC-nek (6),(7). Miután a régi BSC vette az információt, a régi BTS-en keresztül utasítja az MS-t, hogy váltson az új TCH-ra (8).

Az üzenet vétele után az MS áthangol az új frekvenciára és időre, és nyugtát küld az új BTS felé (9). Amint az új BTS észleli a nyugtát, információt küld az időzítésről és a kimeneti teljesítményszintről az MS-nek (10), majd a BSC felé is elküld egy üzenetet, hogy a handover végrehajtásra került (11). A BSC továbbküldi a nyugtát az MSC-nek (12), amely ezek után értesíti a régi BSC-t, hogy a csatornák a továbbiakban már nem szükségesek, és a régi BTS deaktiválja a régi TCH-t (13). Ha az új cella egy új LA-hoz tartozik, az MS-nek egy normál location update-et kell indítania a hívás befejezése után. A jelzések az 5.16. ábrán láthatók.



5.16 ábra: Inter BSC handover jelzésfolyamata

Inter MSC handover

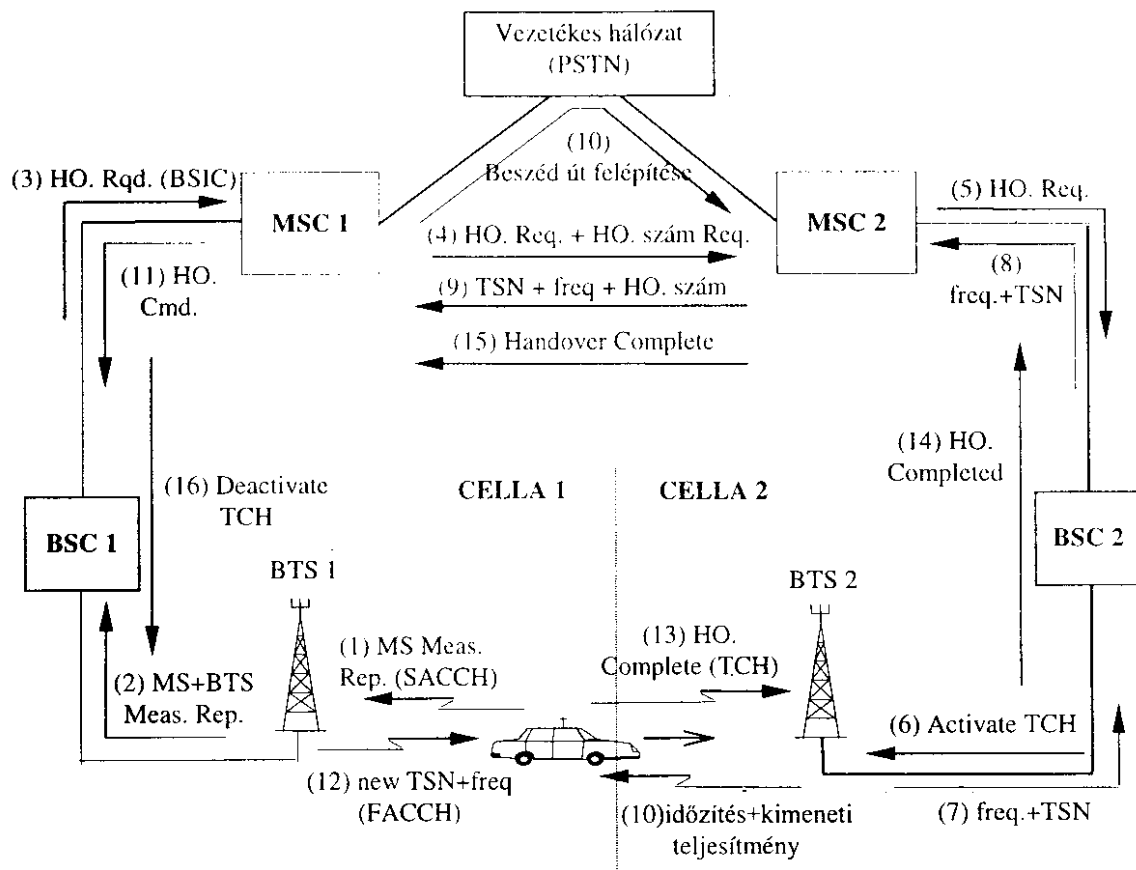
Ez a legbonyolultabb eset, hiszen ekkor kell a legtöbb jelzésváltást lebonyolítani, mielőtt a handover végrehajtásra kerül. A régi MSC-nek először egy handover kérést kell küldenie az új MSC felé. Ezek után az új MSC átveszi az irányítást az összeköttetés felépítése érdekében a/új BTS felé. A központok közötti összeköttetés felépítése után, a régi MSC küld egy handover parancsot az MS-nek.

A folyamatot az 5.17. ábra alapján magyarázzuk meg. Az MS a kiszolgáló (horgony) MSC területéről, egy másik MSC területére mozog. Amikor az MS mozog, a kiszolgáló BSC észleli, hogy a hívást át kell adni egy új cellának. Ezért küld egy handover required (handover szükséges) üzenetet a horgony MSC-nek(3), tartalmazva annak az új cellának az azonosítóját, amelybe az MS-t át kell adni.

A handover required üzenet vételekor, a horgony MSC analizálja a cél cella azonosítóját. Ha a cella egy eltérő MSC-hez tartozik üzenetet küld az új MSC-be, hogy handoverre van szükség (4). Ezután az új MSC kiutal egy úgynevezett handover számot a hívás átirányítása céljából, majd a handover igényt elküldi az új BSC-nek (5). Ha van szabad TCH, az új BSC aktiváltatja az új BTS-sel a TCH-t (6).

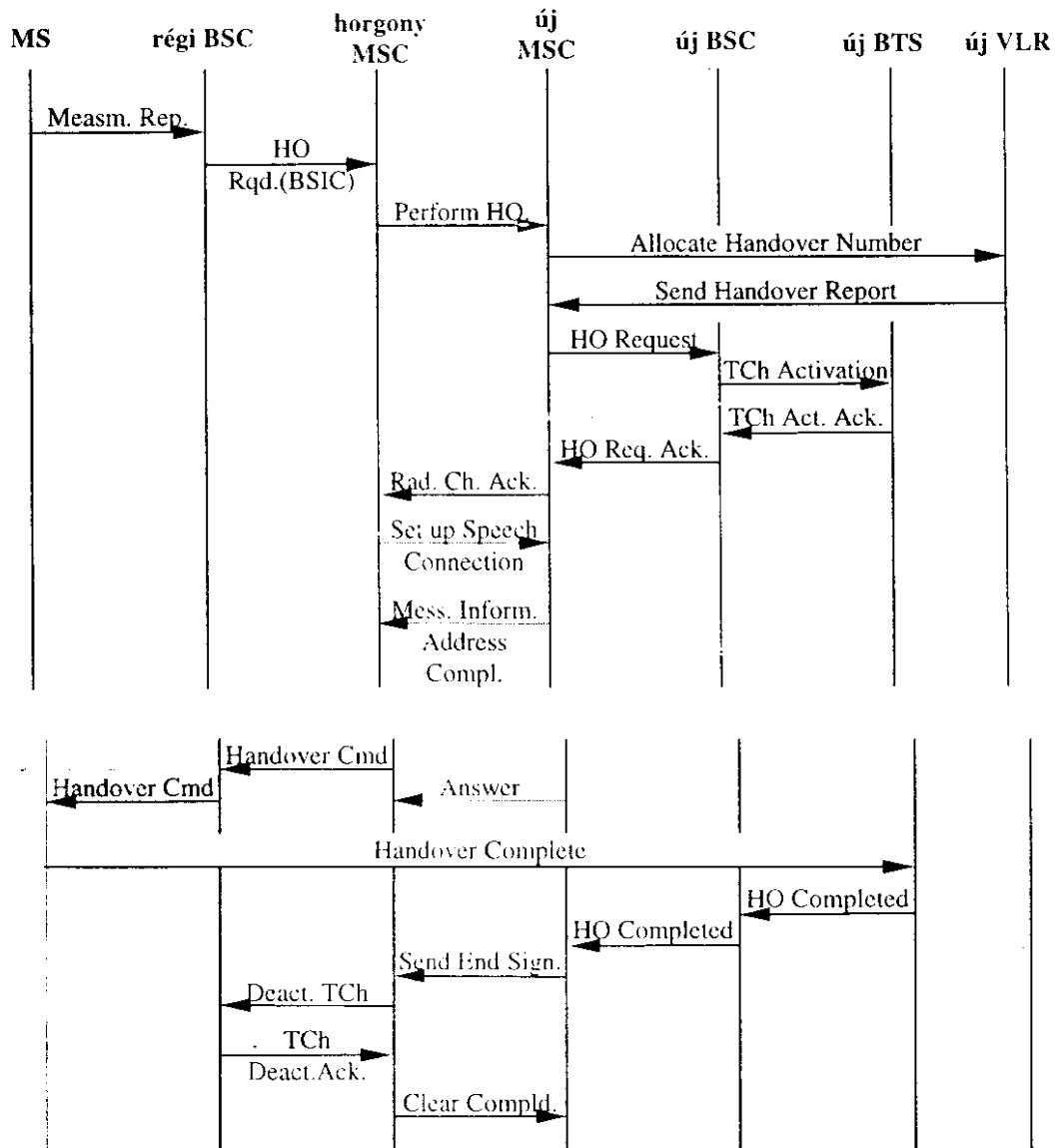
Miután az új MSC veszi az információt az új TCH-ről (7), (8), visszaküldi azt a horgony MSC-nek a handover számmal együtt (9). Ezután a horgony MSC felépíti a beszéd utat a handover szám segítségével az új MSC felé a vezetékes hálózaton (PSTN) keresztül (10), majd elküldi a régi BSC-BTS-en keresztül a handover parancsot az MS-nek, az új cellában használatos frekvencia és idorés adatokkal együtt (11).

A handover parancs vétele után az MS az új TCH-ra hangol és nyugtázza a handover végrehajtását (13). A BTS a BSC-n keresztül értesíti MSC-t, hogy a handover sikeres volt (14), amelyet új MSC visszaküld a horgony MSC-nek (15). Végül felépül az új útvonal, a hívás pedig át lesz irányítva az új MSC felé. Most már csak az marad hátra, hogy a régi TCH kell deaktiválni (16). A horgony MSC mindaddig visszatartja a hívás vezérlését, amíg a hívás nincs törölve. Az MS-nek hívás befejezése után végre kell hajtani egy location update-et, azaz a HLR-ben frissítve lesz a VLR címe, és a régi MSC/VLR-ból törölnek az MS-hez tartozó információk.



5.17. ábra: Inter MSC handover

A teljes jelzésfolyamat az 5.18. ábra alapján követhető nyomon.



5.18. ábra: InterBSC basic handover jelzése

5.7. Nem folyamatos átvitel (DTX)

Egy normál beszélgetés alatt a két fél átlagban csak a beszélgetési idő 50%-ában „használja” az átviteli csatornát, ha csak a hasznos információt, azaz a tényleges beszédidőt tekintjük. A beszéd ezen tulajdonságát használja ki az úgynevezett nem folyamatos átviteli mód (DTX = Discontinuous Transmission). A DTX alkalmazása alatt a készülék csak a tényleges beszédet kódolja, és továbbítja. A DTX alkalmazásának előnyei a következők:

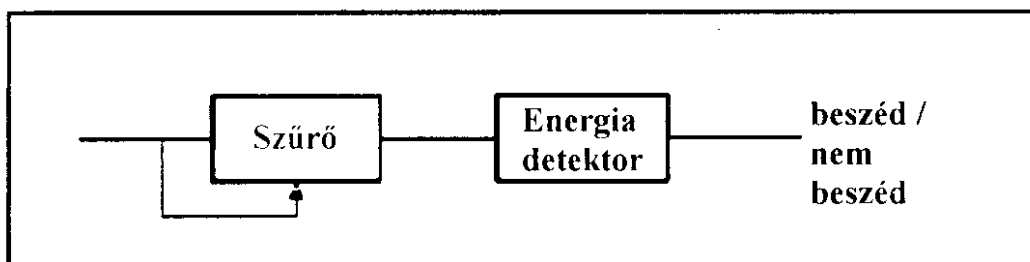
- A mobilkészülék akkumulátora hosszabb ideig használható feltöltés nélkül, azaz több beszélgetési idő érhető el, hiszen kevesebb keret is elég az információ átvitelére.
- Uplink és downlink irányokban csökken az interferencia átlagszintje, a megoldás jobb spektrum kihasználtságot eredményez.

A DTX működést a DTX kezelő valósítja meg, ami a következő részekből áll:

- Beszédaktivitást felismerő az adó oldalon
- Háttér akusztikus zaj kiértékelése az adó oldalon,
- Enyhítési zaj generálása a vételi oldalon abban az időperiódusban, amikor a rádiós átvitel megszűnik.

A beszédaktivitás detektor (VAD = Voice Activity Detector) meghatározza, hogy a beszédkódolóból származó 20 ms-os blokk tartalmaz-e beszédet, vagy sem.

A beszédhez társult zajt például egy lassan mozgó járműben relatíve állandóan tekinthetjük, ha azt hosszú időre kiátlagoljuk. Ezért a beszédre a járműzaj egy részét egy adaptív szűrő alkalmazva könnyen le lehet választani, vagy ha nincs beszéd a zajszintet ki lehet átlagolni. A VAD alapvetően egy energiaszűrő, amely szét tudja választani a mikrofonba került háttérzajt és a beszédet. Majd a szűrt beszédjel energiáját egy küszöbszinttel hasonlítja össze. Ha a beszédjel energiája egy előre meghatározott küszöbszint fölé kerül, a normál burstban a kódolt titkosított beszéd bitek kerülnek átvitelre.



5.19 ábra: Hang aktivitás detektálás (VAD)

Mivel a zaj a mobil környezetében állandó szintváltozást mutathat és a zaj spektruma szintén változhat, a VAD küszöb- és illesztő szűrőparamétereit folyamatosan illeszteni kell. A megbízható felismerés érdekében a beszéd szint küszöböt a zajszint fölé kell meghatározni. Ha rossz a küszöbének, a zajt esetleg beszédként ismeri fel az egység, vagy ha kicsi (halk) a beszéd szintje (halk a beszéd), azt esetleg zajként kezeli. Ezért a „nem beszéd” döntés csak akkor jön létre, amikor a jel a megfelelő frekvencia tartományban állandónak mutatkozik, és nem tartalmaz olyan komponenst, ami a beszédre jellemző.

Amikor beszéd van, a háttérzaj egy kis része a beszéddel együtt kerül továbbításra. Ahogy a beszéd véget ér, csak egy nagyon alacsony szintű zaj marad a vonalon, ami gyakorlatilag

elnémulást okoz a vevoben. Ez a hirtelen „csend” sokszor bosszantó lehet, mert azt hihetjük, hogy a beszélgetés megszakadt. Ezen a vevoben, amikor a beszéd abbamarad egy mesterséges zajt állítanak elő, ezt „kontrollzajnak”, vagy enyhítési zajnak nevezzük.

Ha nincs beszéd, kevesebb információt kell átvenni, amit úgy nevezett SID (Silence Descriptor) keretekben valószínűsítanak meg.

6. Új GSM technológiák

Ha valaki napjainkban figyelemmel kíséri a mobil kommunikáció és az Internet fejlődését, igen gyors növekedést tapasztalhat. Egyes becslések szerint a vezeték nélküli készülékek száma pár éven belül eléri, sőt meghaladja az egymilliárdot. Ez egy igen nagy és gyorsan változó piac, mely éles versenyhelyzetet teremt a fejlesztéssel foglalkozó cégek számára. Az előrelépés iránya körvonalazódott. Mint megannyi más területen a mobilitás egyre fontosabbá válik. Milyen lehetőségeink voltak eddig? Képesek vagyunk egy hordozható számítógép és egy mobiltelefon összekötésével csatlakozni a világhálóra. Ebben az elrendezésben a képek megjelenítése, az adatbevitel biztosítása és a kommunikációhoz elengedhetetlen protokollok ismerete a számítógép, míg az adatátvitel a mobiltelefon vagy kártyatelefon feladata. Joggal merült fel a kérdés: miért ne lehetne mindezeket egyesíteni, egyetlen mobil készülékben, mely a zsebünkben is elfér és a számítógép használatának ismerete nélkül is egyszerűen kezelhető.

Azonban a célok gyakorlati megvalósítása korántsem olyan egyszerű. Az Internetet számítógépekre tervezték, melyek viszonylag nagy számítókapacitással, összetett beviteli eszközökkel, nagy méretű és felbontású kijelzővel, közepes- illetve nagy sávszélességű és megbízható adatátviteli eszközökkel rendelkeznek, amelyekkel egy mobil készülék nem. Egyértelművé vált, hogy a hagyományos, Interneten bevált megoldások nem alkalmazhatóak módosítások nélkül.

6.1 A Wireless Application Protocol

A fenti célok megvalósítás érdekében egy új szabványt kellett kidolgozni, de a technológia gyors elterjedésének gátat szabott volna, ha minden cég külön szabványt dolgoz ki. Ezért a vezető, fejlesztő cégek az Ericsson, a Motorola, a Nokia és az Unwired Plánét 1997 júniusában megalapították a Wireless Application Protocol Forum nevű társaságot, amelyhez később többen is csatlakoztak, mint például az IBM, Alcatel, az AT&T és mások. A WAP Forum az a szervezet, amely kidolgozta Wireless Application Protocol (WAP) specifikációit és koordinálja a további fejlesztéseket.

Definíciószerűen a WAP (drótnélküli elérési protokoll) egy nyílt szabvány interaktív szolgáltatások eléréséhez mobil készülékekről. Megalkotásánál a következő fontosabb szempontokat vették figyelembe:

- Legyen kompatibilis a meglevő szabványokkal, ahol ez lehetséges,
- Jól definiálja a protokoll felépítését (rétegek, funkciók stb.),
- Minél több vezeték nélküli hálózattípust támogasson,
- Legyen optimalizálva a keskeny sávú átvitelre és az esetlegesen előforduló nagy késleltetési időkre,
- Legyen optimalizálva a készülékek erőforrásaira (keves memória, gyenge CPU, véges tápenergia, kevés gombbal rendelkező billentyűzet),
- Biztosítson biztonságos kommunikációt és alkalmazás elérést,
- Könnyen irányítható és rugalmas kezelőfelülettel rendelkezzen,
- A meglevő szolgáltatásokat könnyen lehessen integrálni,
- Legyen lehetséges hálózat-operátori szolgáltatásokra.

A cél tehát egy olyan protokoll megteremtése volt, ami az interaktív vezeték nélküli alkalmazásokat, hálózati használatra optimalizálja mobil készülékeken. Ezért főleg szöveges

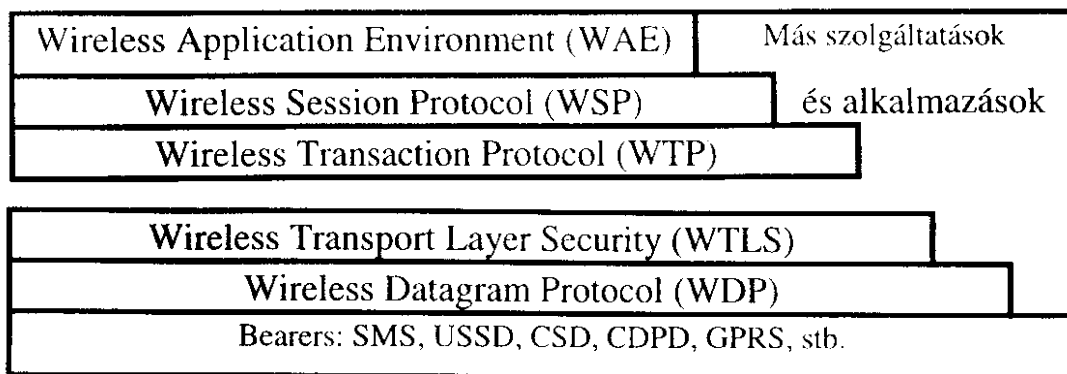
és egyszerűbb grafikus információk megjelenítését, valamint könnyű adatbevitelt tesz lehetővé.

A WAP megjelenése értéknövelt szolgáltatások gyors fejlődését segítheti elő. Ilyenek például a banki szolgáltatások, telefonkönyvek, szótárak, tozsdei információk, időjárás, hírek, távirányítás, on-line vásárlás, városi navigáció stb.

6.1.1. A WAP összetevői

A WAP szabvány előírásainak megfelelően a vezeték nélküli kommunikációnak két fő része van: egy alkalmazás protokoll és egy alkalmazás környezet (böngésző). A WAP protokoll négy fő rétegből áll:

- Session layer,
- Transaction layer,
- Security layer,
- Datagram layer.



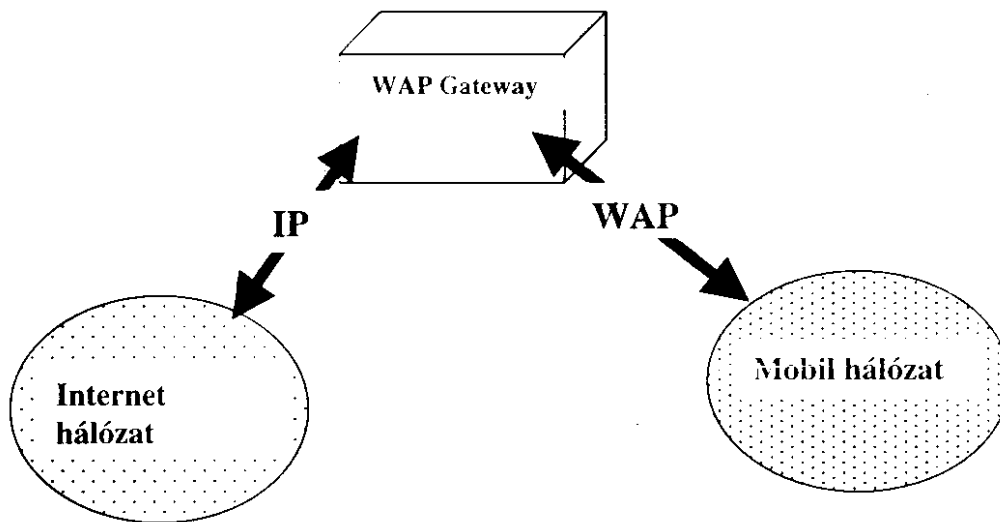
6.1. ábra: A WAP rétegei

A legalsó szinten az adat hordozó vagy szállító szolgáltatások találhatók (bearers), ezek valósítják meg két eszköz közötti adatátvitelt. Ilyenek pl. az SMS (Short Message Service), az USSD (Unstructured Supplementary Service Data), a CSD (Circuit-Switched Data), a CDPD (Cellular Digital Packet Data), a GPRS (General Packet Radio Service), stb. A hordozó szolgáltatások felett működik a WDP (Wireless Datagram Protocol) réteg, amely a hordozók felé biztosít felületet a magasabb rétegek számára. A WDP felett található WTLS (Wireless Transport Layer Security) biztosítja az adat integritást, a hitelesítést, titkosítást, vagyis a terminálok közötti biztonságos kommunikáció megvalósítására szolgál. A felette található WTP (Wireless Transaction Protocol) feladata a tranzakció kezelés, újraküldés, visszajelzés, stb. A következő réteg, a WSP (Wireless Session Protocol) feladata a session kezelés a WAP kliensek és a hálózati szerverek között, célja az optimális sáv szélesség kihasználása. A legfelső szinten a WAE (Wireless Application Environment) foglalja magába környezetet.

A mikroböngészők nagyon hasonlítanak a web böngészőkre, de nem HTML (HyperText Markup Language) nyelvet, hanem - az arra nagyon hasonlító - WML formátumot (Wireless Markup Language) használják, amit az optimális határfok érdekében binárisan kódolnak. A WML oldalakba a JavaScript-hez hasonló egyszerűbb alkalmazások integrálhatók, amelyeket WMLScript-nek neveznek. A WML és a HTML egymással nem kompatibilis.

6.7.2. A WAP architektúrája

A mobil és számítógépes hálózatot a WAP Gateway köti össze (6.2. ábra). A gateway és a mobil terminál közötti kommunikációt a WAP biztosítja. A gateway és a számítógépes hálózat közötti kapcsolat IP alapú, és a HTTP (HyperText Transfer Protocol) protokoll szerint történik. Így a WAP oldalak, alkalmazások bármely, egy arra alkalmassá tett web serveren elhelyezhetők és az interneten vagy intraneten a gateway segítségével mobil készülékre tölthetők. A WAP Gateway önállóan képes server funkciók ellátására is, ebben az esetben nem szükséges a WAP Gateway számítógépes hálózatra történő csatlakoztatása. Ez a módszer biztonságos adatforgalmat tesz lehetővé, mivel külső hálózatról nem érhetők el adataink. Felhasználása belső vállalati adatforgalom megvalósítása esetén előnyös.



6.2. ábra: A WAP Gateway szerepe

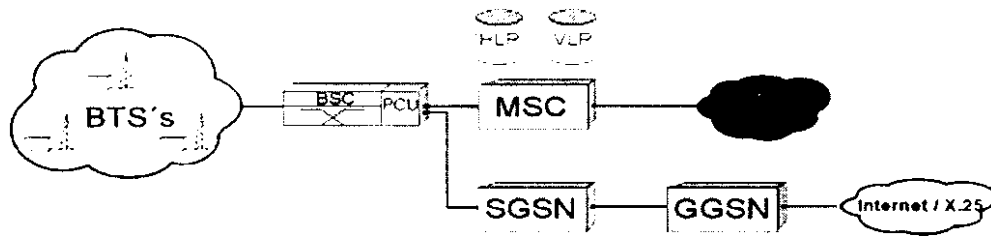
A mobil készülék és a gateway közti kommunikáció vagy áramkörkapcsolt (hagyományos), vagy csomagkapcsolt GPRS technológiával történik. Az áramkörkapcsolt módok, szolgáltatótól függően 9600 vagy 14400 bps-os sebességgel történnek, a GPRS-el akár 171.2 kbps-os sebesség is elérhető majd.

6.2. GPRS, a csomagkapcsolt megoldás

Egyszerűen megfogalmazva a General Packet Rádió Service (Általános Csomag Rádiós Szolgálat) nem más, mint a csomagorientált adatátvitel bevezetése az eddig vonalkapcsolt mobiltelefonok világába. A helyett, hogy a két kommunikációs partnernek a beszélgetés teljes idejére egy csatornát a rendelkezésére kellene bocsátani, a GPRS mobil kapcsolat mindig „Online”. Ugyanis a vonalkapcsolt összeköttetéssel szemben a GPRS átvitel a rádiós csatorna kapacitását csak akkor igényli, ha ténylegesen adatátvitel történik. A hálózati kapacitás tehát az összes felhasználó számára egyidejűleg és bármikor rendelkezésére álló erőforrás. Ez a megoldás megfelel az Internet alap gondolatának és a GPRS architektúra is e szerint épül fel. A fennálló GSM hálózati struktúra mellé egy második hálózati struktúrát mellékelnek, amely gateway-eken keresztül a régi GSM oldal és a TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) hálózat felé is képes közvetíteni.

A GSM hálózattal való kapcsolatot az, úgynevezett Serving GPRS Support Node-ok (SGSN) biztosítják. Ezek a hálózati elemek bonyolítják le az, adatátvitelt a mobil állomással,

majd ezután a rádiós interfészt ismét felszabadítják. Egy további gateway, amelyet szaknyelven Gateway GPRS Support Node-nak (GGSN) nevezünk, routerként működik az internet felé és a belső GPRS hálózati organizációt tartalmazza. Az Internet oldaláról a GPRS hálózat adott IP-számú kontingenssel rendelkező alhálózatnak tunik.



6.3. ábra: Új GPRS rendszerelemek a mobil hálózatban

A GPRS muszaki megoldásai mellett, a tényleges forradalom mindenek előtt azokban a változásokban rejlik, amelyeket a GRPS a felhasználó számára kínál fel. Az „Always-on” elv (mindig bekapcsolt) megvalósításával a mobil Internet ígérete első alkalommal válik valósággá. Ha például a felhasználónak egy e-mailje érkezik, azt azonnal megkapja a rádiótelefonján, és nem kell többé az előfizetőnek érdeklődni, hogy érkezett-e elektronikus levele vagy sem. A hálózat ugyanis a beérkezett e-mailt önállóan továbbítja a GPRS rádiótelefon felé.

6.2.7. A GPRS átviteltechnikája

A GPRS alkalmazása a GSM rendszerben, nagyobb sáv szélességet biztosít a felhasználó számára. A sáv szélesség, így az információátvitel sebességének növekedését a rádiós interfészen alkalmazott kódolás és több időrés (TS: Timeslot) egyidejű használata teszi lehetővé.

Négyféle kódolási sémát definiáltak a GPRS -ben attól függően, hogy milyen a rádiós út minősége. Ha "rossz" a rádiós út, vagy távol vagyunk a bázisállomástól (és így csökken a jel/zaj viszony), több redundáns elemre van szükség az adatok biztonságos továbbításához.

A különböző kódolási sémák más átviteli sebességet tesznek lehetővé, ezek a következők:

CS1	9,5 kbit/s
CS2	13,4 kbit/s
CS3	15,6 kbit/s
CS4	21,4 kbit/s

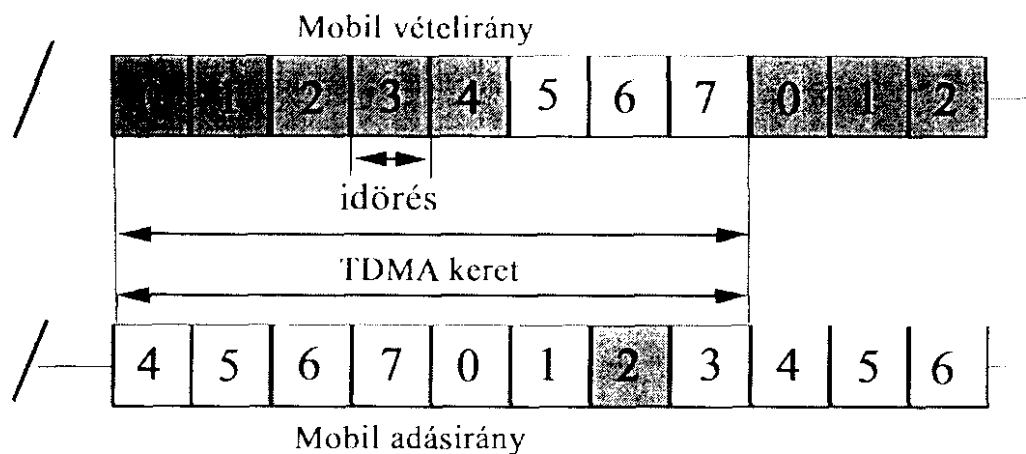
Összehasonlításképpen a hagyományos, vagy áramkörkapcsolt adatátviteli sebesség a GSM-ben tipikusan 9.6 kbit/s vagy 14.4 kbit/s. A teljes csatornasebesség ennek többszöröse, hiszen az átvitelre kerülő hasznos információt az adóban csatornakódolási eljárásnak vetik alá. A csatornakódolás lényegében a hasznos információ bitjeihez rendel redundáns biteket, amelyek hibafelismerő és részben hibajavító funkciót látnak el. Így az időrésben található, redundáns bitekkel kiegészített információ átviteli sebessége 22,8 kbit/s-ra nő.

A GP&S rendszer a rendelkezésre álló rádiós út minőségétől függően mindig azt a kódolási sémát kiválasztja ki, amelynek használatával az adatok gyorsan, és biztonságosan továbbíthatóak.

A CS1-et akkor használja a rendszer, amikor a rádiós út minősége rossz, ezért az átvitelnek sok redundáns elemet kell tartalmaznia az adatok biztonságos továbbítása érdekében. Ezzel ellentétben a CS4-et akkor alkalmazza a hálózat, ha a rádiós út szinte zavartalan, például abban az esetben, amikor közvetlenül a bázisállomás közelében tartózkodunk. Ilyenkor az átvitel nem tartalmaz redundáns elemeket.

Mivel mozgás közben a rádiós út minősége folyamatosan változik, a rendszer az éppen használt kódolási sémát is változtatja. Ez azt is jelenti, hogy a kommunikáció ideje alatt az átviteli sebesség sem lesz állandó.

A sávszélességet befolyásoló másik tényező az, hogy a telefon egyszerre hány idorést tud egy időben használni. Elméletileg elképzelhető lenne, hogy a vivon mind a 8 idorést képes letöltésre használni (ez adja az elméleti sebességhatárt $8 \cdot 21,4 = 171,2$ kbps), de ez a gyakorlatban lehetetlen, mert az uplink és a downlink más frekvencián van, és az áthangolásra is legalább egy idorésnyi idő szükséges.



6.4. ábra: Időrés kiosztás a GPRS-ben

Bar ez a probléma áthidalható lenne, ha a mobil készülékben különálló RF adót és vevőt alkalmaznánk, ami duplexert alkalmazását igényelné, ez viszont jelenleg még méretbeli problémákba ütközik.

További időt vesz igénybe az, hogy a telefonnak mérnie kell az aktuális és a szomszédos cella paramétereit (télerősség, jel/zaj viszony, stb.) az esetleges handover (csatornaváltás) szükségessége miatt. Ezen felül a 8 TS között nem csak forgalmi csatorna (TCH) található, hanem más logikai csatornák is (például kontrol csatornák).

Az átlagos GPRS telefonok 5+1 TS-ot tudnak kezelni. Ez az aszimmetrikus adatátvitel azért elonyös, mert a letöltött adatmennyiséghez képest a kimenő adat mennyisége többnyire elenyésző. Például, ha böngészünk az Interneten, a hálózat felé csak a letöltendő weblap címét küldjük, ami a weblap letöltött adatmennyiségéhez képest elhanyagolható. Így könnyen kiszámítható, hogy egy 5 TS-t kezelő telefont a BTS közelében használva, és a CS4 kódolási sémát alkalmazva downlink irányban, az elméletileg elérhető sebesség $5 \cdot 21,4$, azaz 107 kbit/s.

Sajnos a tényleges használat esetében felmerülhetnek más sávszélesség csökkentő tényezők is. Például a GSM/GPRS hálózat terheltsége, az internet (az adatok forrása) sebessége, és a futtatott alkalmazás által használt protokoll is befolyásolja az alkalmazási szinten elérhető sebességet.

Hatékony erőforrás-kihasználás

A GSM-ben a WAP használata közben az előfizető nemcsak a WAP oldal letöltéséig használja a rendszer erőforrásait (foglalja az időt), hanem a letöltött oldal elolvasása közben is, habár ez alatt nem történik adatforgalom. Ha GPRS-t alkalmazunk, akkor kizárólag a letöltés erejéig terheljük a hálózatot, ami jobb kihasználtságot tesz lehetővé, és ez hatékonyabbá teszi az átvitelt, ilyenkor kevesebb ideig foglaljuk le az átviteli erőforrásokat, és ezáltal egy időben több felhasználó használhatja a rendszert. A felhasználó szempontjából ez azért fontos, mert kevesebb ideig használja a szolgáltató erőforrásait, így várhatóan azok használatáért kevesebbet fog fizetni.

Akinek vannak, vagy voltak tapasztalatai a vonalkapcsolt WAP használatával kapcsolatban láthatta, hogy milyen „hosszú” időt vesz igénybe a hálózathoz való csatlakozás. A GPRS alkalmazása esetén a hálózathoz való kapcsolódási idő töredéke a hagyományos áramkörkapcsolt megoldással szemben. További előnye az, hogy nem kell a kapcsolatot megszakítani a hálózattal, még a számlázás alapja nem feltétlenül a kapcsolat időtartamától függ, hanem például az átvitt adat mennyiségétől. Ezzel a megoldással folyamatosan kapcsolatban lehetünk az Internettel.

Gazdaságos használat

Ha GPRS telefont vásárolunk nem szükséges a SIM kártya cseréje, mert a szolgáltató a már meglévő GSM előfizetésre engedélyezni tudja a GPRS használatát. Az eddig használt készüléket természetesen ki kell cserélni, mert a „hagyományos” GSM készülékek nem tudják kihasználni a GPRS adta előnyöket.

A felhasználókat érinto további fontos kérdés, a GPRS szolgáltatás ára. Többféle számlázási elképzelés merült fel az új rendszer bevezetésével kapcsolatban. Az egyik lehetőség, hogy a felhasználó az átvitt adatmennyiség után fizet. Ez a megoldás az előfizetőnek kedvező, de sajnos nehezen kivitelezhető. Ennek az az oka, hogy a különböző kódolási sémák használata esetében, a felhasználó számára esetleg „felesleges” információk kerülnek továbbításra, és ezek mennyiségének meghatározása nehézkes.

A másik alternatíva az idő alapú számlázás. Ez esetben is elvileg az előző lehetőségekhez képest olcsóbb szolgáltatást vehetünk igénybe, mert a rendszer hatékonyabban használja ki ugyanazokat az erőforrásokat. (A gyakorlat azonban nem biztos hogy megegyezik az elmélettel.)

Számlázhat a szolgáltató tartalom alapon is, ami azt jelenti, hogy egyes információkhoz ingyenesen lehet hozzájutni, például időjárás-jelentéshez. Másokért azonban fizetni kell, például mozijegyrendelés esetén vagy tozseinformációk lekérésekor. Itt az árban is lehet különbség, hiszen nem mindegy az információt azonnal vagy egy későbbi időpontban kérjük.

További lehetőség, ha tranzakció alapon végzik a számlázást, ami azt jelenti, hogy más ár lenne például egy e-mail küldésének, és egy fájl letöltésének. Mivel a két esetben az átvitt információ mennyisége különbözik, további ármódosító tényező lehet ez az, hogy az átviteli utat milyen sebesség kívánjuk lefoglalni. Többet fizetünk, ha egy fájl letöltésekor a kívánt adatokat 30 kbit/s-os sebességgel kérjük, mint amikor csak 3 kbit/s-os átviteli sebességet igénylünk.

6.2.2. WAP alkalmazások GPRS-el

A GPRS várhatóan a WAP-ot is hatékonyan tudja alkalmazni az automatikus továbbítási megoldásnak („Push”-technika) köszönhetően. Aki ugyanis a kapcsolati idő szerint fizet, annak kevés kedve van ahhoz, hogy egyre-másra néhány percre bejelentkezzen, azért hogy a

kínosan lassú 9,6 kbit/s sebességgel felálló kapcsolaton keresztül megtudja, hogy végrehajtották-e például valamelyik részvényrendelését. Ennek a GPRS és az új WAP 1.2.1 verzió véget vet, mert támogatja a „Push” technikát. A felhasználó csak befizet a kívánt hírszolgáltatásra és megadja, hogy hogyan kerüljenek átvitelre az e-mail-ek, a részvényrendelések vagy a számlamozgások, ezután minden továbbítást a WAP a GPRS-el automatikusan elvégez.

A GPRS az adatátviteli sebesség területén is jelentős változást hozott. Az adott rádiócellában az átvitt jel minőségétől függően a GPRS négy különböző kódolási módszert használ (CS1, CS2, CS3, CS4), amelyek eltérő adatátviteli sebességeket tesznek lehetővé.

Mivel elméletileg egy GSM-ben egy frekvencián maximum nyolc időrés kombinálható, így elméletileg maximum 171.2 kbit/s átviteli sebesség elérhető el. Ennek eléréséhez azonban optimális terjedési viszonyokra van szükség, nem beszélve arról, hogy az egy cellában lévő között ezt a sebességet meg kell osztani. Mivel a hétköznapi telefonbeszélgetéseket is ezeken a rádiós erőforrásokon keresztül kell lebonyolítani, ezért realisan nézve egyelőre 30 kbit/s körüli átviteli sebességgel lehet számolni.

Újabb áttörést jelenthet az EDGE (Enhanced Data Rates for GSM) bevezetése. A GSM-ben alkalmazott GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulációval szemben az EDGE egy olyan, úgynevezett 8 PSK (Phase Shift Keying) modulációs technikát alkalmaz, aminek köszönhetően a teljes adatátviteli sebességet a jelenleginek a háromszorosára növeli.

6.2.3. A GPRS készülékek állapotai

Egy GPRS készüléknek három állapota lehetséges:

IDLE állapot

Ebben az esetben a készülék nem kapcsolódik fel a GPRS szolgáltatóra, csak a GSM hálózathoz, ahol hívásokat kezdeményezhet és fogadhat. Az SGSN ilyenkor nem ismeri a mobil készülék helyét.

STANDBY állapot

A Standby állapotban a készülék kapcsolatban áll a GPRS hálózattal és az SGSN tudja, hogy melyik RÁ (routing area) területen található. (A helymeghatározás céljából definiálják a „routing area” -kat. egy RÁ több cellából is állhat.) Adatok küldésére és fogadására a készülék még nem képes, de tud PDP (Packet Data Protocol) context-et aktiválni, melyet az adatátvitel előtt minden esetben meg kell tenni.

(A rendszer PDP context-ben tárolja a kapcsolat jellegzetességeit: a QoS-t (Quality of Service), ami az előfizető átviteli sebességszükségletét jelenti, a rendszeres elemek IP címét, a PDP típusát, stb.)

READY állapot:

Az SGSN nemcsak azt tudja, melyik RA-ban van a készülék, hanem azt is, melyik cellában van az adott RA-n belül, mert ez nagyon fontos a csomagok pontos célba juttatása miatt. Ebben az állapotba akkor kerül a készülék, ha adatátvitelt kezdeményez vagy adatot fogad.

6.2.4. A GPRS előnyei különböző alkalmazások esetén

A WAP használatakor

Ezen az alkalmazáson észrevehető igazán a GPRS előnye. A kapcsolódás gyors, nem kell 30 másodpercet várni egy wml oldal megjelenéséig, az oldal néhány másodperc alatt olvasható. Az olvasás közben nem kell lefoglalni időre, ami olcsóbbá teszi a WAP használatát.

Ha a GPRS telefont számítógéppel kötjük össze, további alkalmazásokban is tapasztalhatjuk a GPRS előnyeit.

Böngészéskor

Itt az igazi előnyt az jelentheti, ha a számlázás nem idő alapon történik, hiszen egy web oldal elolvasása akár percekig is igénybe vehet. Nem elhanyagolható a letöltési sebesség növekedése sem, hiszen nagy mennyiségű adat átviteléről van szó. Habár a GPRS sebessége nem összemérhető a vezeték nélküli átvitel nyújtotta lehetőségekkel, de kétségtelen, hogy az átviteli sebesség már akkora, amivel a böngészés már elviselhetővé válik.

FTP esetén

Ilyenkor a legfontosabb előny a megnövekedett letöltési sebesség, hiszen folyamatosan foglaljuk az időre, tehát ebben az esetben nem beszélhetünk erőforrás-kímélésről. A megnövekedett sebesség azonban ebben az esetben is a GPRS oldalára billenti a mérleget. FTP esetén és a böngészésnél is megemlíthető az aszimmetrikus adatátvitel lehetősége, hiszen a mobil készülék felől érkező adatok mennyisége elhanyagolható a tényleges adatforgalomhoz képest.

A GPRS természetesen további internetes alkalmazásokat is elérhetővé tesz, például E-mail küldést, fogadást, vagy internetes játékokat, amelyek a hagyományos GSM kapcsolaton keresztül drágábbak, lassabbak vagy kevésbé használhatóak voltak.