

MOBIL HÍRKÖZLÉSI RENDSZEREK I.

A GSM¹ RENDSZER ÁTTEKINTÉSE

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 Speciale Mobile volt — amely most az ETSI² aktív tagja —, ebből származik az eredeti GSM³ rövidítés.

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

1987. 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.

A rendszer főbb paraméterei:

- Frekvenciasávok:
 - Bázisállomás ⇒ Mobil készülék 935—960 MHz
 - Mobilkészülék ⇒ Bázis állomás 890—915 MHz
- Vívőfrekvenciák távolsága 200 kHz
- Vívőfrekvenciák száma 124

¹ Global System for Mobile telecommunication

² European Telecommunications Standards Institute

³ Ma a GSM megnevezést leginkább „Global System for Mobile telecommunication” rövidítésként használjuk.

— Többszörös hozzáférés	TDMA/FDMA
— Csatornák száma vivőnként:	
• teljes sebességű	8
• félsebességű	16
— Moduláció	GMSK
— Beszédkódolás	RPE—LTP
— Csatornasebesség	270 833 kbit/s
— Keretidő	4,615 msec
— Bázisállomás kisugárzott adóteljesítménye	10—100 W
— Mobilkészülék adóteljesítménye, max./átlag	1/0,125 W

Az első szolgáltató 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 hálózatainak üzemeltetői, szerződéseket kötöttek egymással a másik fél előfizetőinek a kiszolgálására (roaming), ezáltal az új rendszer valóban páneurópaivá vált.

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

- a gazdaságos frekvencia-kihasználás;
- a nemzetközi roaming lehetősége, ami ez idáig csak a skandináv országokban volt adott az NMT rendszerben;
- 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 digitális rádiótávközlő rendszerek hatékony működése és más hálózatokhoz való jó csatlakoztathatóságuk érdekében a belső kialakításukban, a rendszer felépítésében, külső és belső csatlakozási tulajdonságaikban követik az ISO/OSI modellt. Ez lehetővé teszi a többi OSI rendszerhez való csatlakozást. A GSM alapvetően a CCITT No.7 jelzésrendszert használja alapként, és erre építi saját protokolljait. Ideális esetben a GSM hálózat közvetlenül az ISDN hálózathoz kapcsolódik.

A kelet-európai országok közül elsőként hazánkban építették ki a GSM rendszert. A magyar törvényeknek megfelelően két szolgáltató kapott hálózatkiépítési 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 probléma. A rendszer lehetőséget ad egy paging (személyi hívó rendszer) jellegű szolgáltatásra is, amely segítségével pár soros írásos üzenetet küldhet a mobil előfizető a központ segítségével egy másik mobil készülék felé. A rövid üzenetet SMS⁴ a készülék beszélgetés alatt is veszi, és azt az előfizetői azonosító kártyán SIM⁵ eltárolja.

Több szakember is megkérdőjelezi a GSM jövőjét, mely véleményem szerint nem csak szkepticizmusuk megnyilvánulása. Több olyan probléma is megoldásra vár még — gondoljunk a felhasználói igények szédületes tempójú növekedésére —, melyek a most használt rendszer számos alapvető elemét megkérdőjelezzik. A rendszer bővítésének lehető leggyorsabb módja jelenleg az 1800 MHz sáv megnyitása. Az új rendszer — mely alapjában véve GSM alapokon működik — a DCS 1800 nevet kapta. A GSM szolgáltatók arra fognak törekedni, hogy a 900-as és az 1800-as rendszerek egymás között „átjárhatóak” legyenek, ennek pedig elengedhetetlen feltétele olyan készülékek kifejlesztése, mely mindkét rendszert képes kiszolgálni.

Még nem tudhatjuk, hogy a szakértők milyen jövőt szánnak a GSM rendszernek, annyi azonban bizonyos, hogy a fejlesztések töretlenül folytatódnak, és a GSM már ma is világméretű hálózatnak tekinthető. A tendenciák mindenesetre azt mutatják, hogy a mobil távközlési fejlesztések egy világméretű komplex rendszer létrehozására törekszenek, melyben a beszédátvitel mellett egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a nem beszéd jellegű (video, számítógépes adatok, szöveg, stb.) információk is. Ennek kialakításában várhatóan a GSM is igen nagy szerepet fog játszani, hiszen tagadhatatlan előnye, hogy ma a világ legtöbb országában használt rendszer.

Az FDMA/TDMA technika megvalósítása

Az analóg rádiórendszerekben az FDMA⁶ ún. frekvenciaosztásos többszörös hozzáférésű rendszert alkalmazzák. Ez azt jelenti, hogy minden csatornának egy-egy külön vivőfrekvencia van kijelölve. Ennek a módszernek az a hátránya, hogy egyszerre csak egy előfizető használhat egy adott frekvenciát. A rendszerben a felhasználható vivőfrekvenciák adottak, így egy bizonyos nagyságú forgalmat csak újabb cella kialakításával lehet kielégíteni.

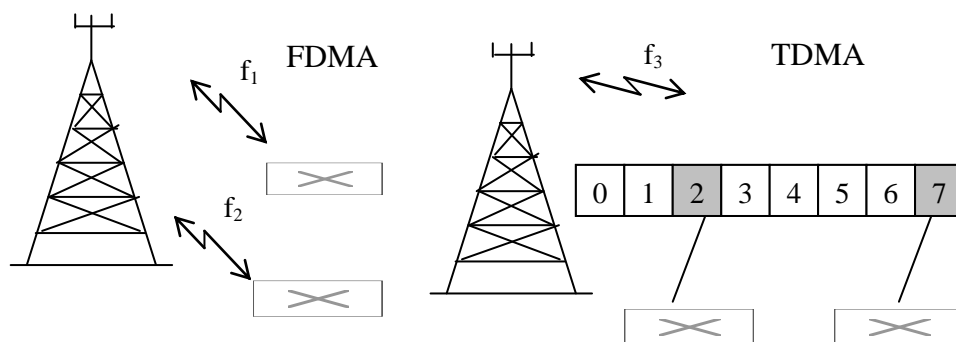
A vivőfrekvenciák korlátozott száma és a forgalom rohamos növekedése szükségessé tette az időosztásos technika bevezetését. A TDMA⁷ a vezetékes átviteli rendszerekben is régóta használt technika. (Gondoljunk a PCM átvitelre.)

⁴ Short Message Service

⁵ Subscriber Identity Modul

⁶ Frequency Division Multiplexing Access

⁷ Time Division Multiplexing Access



1. ábra FDMA és TDMA

A GSM-ben az FDMA/TDMA kombinált rendszert alkalmazzák a rádiós átvitelben. Egyetlen vivőfrekvenciát 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 időréseknek (slot) nevezzük, az időrés hossza 577 μ s. Minden előfizető a keret egy időrését használja, tehát a frekvenciát 8×577 μ s-onként foglalja le 577 μ s időre. Így a tisztán FDMA szervezéssel szemben, azonos számú rendelkezésre álló vivőfrekvencia esetén a TDMA rendszerben nyolcszoros a frekvencia-kihasználás. (Léteznek ennél több időosztásos csatornát használó rendszerek is. A DECT vivőfrekvenciái 24 időrészt tartalmaznak. A 24 időrészből 12 az adás, 12 pedig a vétel céljait szolgálja, azaz egy vivőfrekvencián 12 átviteli csatornát alakítottak ki. A duplexálás ebben az esetben ugyanazon a vivőn valósul meg ellentétben a GSM-el.) Természetesen a TDMA keretek felépítéséhez bonyolultabb áramkörök szükségesek, viszont nagyobb az adatvédelmi biztonság is.

A GSM 124 duplex vivőfrekvenciát alkalmaz a már említett frekvenciasávban. Vivőnként 8 csatornát tekintve ez összesen $124 \times 8 = 992$ csatornát jelent. (Hazánkban a Westel 900 és a Pannon GSM szolgáltatóknak 40—40 vivőfrekvencia áll rendelkezésre az előfizetők kiszolgálására.)

A rádiós interfészen az FDMA alapteretekből további multiplexelésekkel alakítják ki a multi-, super- és hyperkereteket. Ezek szervezésével, felépítésével a Repülés-tudományi Közlemények következő számában kívánok bővebben foglalkozni.

A rendszer lehetőséget biztosít egy ún. frekvencia „hopping” eljárás alkalmazására. Ez az eljárás azon az elven működik, hogy a mobil készülék a beszélgetés alatt a használt vivőfrekvenciákat váltogatja, egyikről a másikra „ugrabugrál” (hopping). A frekvenciák váltogatása egy előre megadott algoritmus szerint történik, melyet a vezérlő előre közöl a mobil készülékkel. Ezzel a módszerrel növelhető a rádiós átvitel hatékonysága és az alkalmazott kódolási és bitkeverési eljárások eredményessége. Az ugrabugráláshoz legalább 4 vivőfrekvenciát kell használni ahhoz, hogy az alkalmazott módszer eredménye már értékelhető legyen. A maximális váltogatási sebesség 217 ugrás másodpercenként.

A roaming és a handover fogalma

Ebben a fejezetben két olyan fogalommal ismerkedünk meg, amelyek alapvetően minden fajta mobil távközlési rendszerben — legyen az analóg vagy digitális — fontos szerepet játszik.

A roaming

A roaming angol szó, magyar jelentése bolyongás, így régebbi magyar nyelvű szakirodalmakban bolygószolgálat néven említik. Ebben a cikkben az angol kifejezést fogjuk a továbbiakban használni, mert ez egyrészt rövidebb, másrészt jelenleg nem divatos az angol nyelvű szakkifejezéseket lefordítani.

A mobil rendszerek elsődleges követelménye, hogy a rendszer előfizetője (mobilkészüléke) bárhol és bármikor elérhető legyen, ha felé hívás érkezik. Az elérhetőségnek több kritériuma van, melyek a következők lehetnek:

- a mobil készülék be legyen kapcsolva (IDLE vagy STANDBY) módban legyen;
- ne tartózkodjon lefedett területen kívül;
- illetékes legyen a rendszer használatára;
- a rendszer ismerje a hívás idején a készülék tartózkodási helyét.

A roaming folyamata a negyedik kritériumot hivatott teljesíteni, azonban ehhez természetesen szükséges az első három kritérium is.

A roaming olyan folyamat, melynek eredményeképpen az előfizetői mobilkészülék aktuális (földrajzi értelemben vett) tartózkodási helye a mobil kapcsolóközpontban rendelkezésre áll, így hívás esetén a készülék a GSM rendszeren belül bárhol elérhető. Ez végeredményben azt jelenti, hogy a készülék bármelyik cellában tartózkodhat, ott mozoghat, a felé érkező hívásértesítés jelzését a GSM hálózaton keresztül fogadhatja.

A mobilkészülék a roaming során mindig maga kezdeményezi helyzetének frissítését — amennyiben az szükséges —, de bizonyos idő eltelte után, ha nem történt változás, a központ is kezdeményezheti az adatok frissítését. A roaming bonyolult jelzésfolyamat, melyre a könyv további részeiben még visszatérünk.

Mivel mára a GSM világméretű hálózattá vált, az egyes országok szolgáltatói arra törekednek, hogy előfizetőiket a világ bármelyik részén el lehessen érni, ezért ún. nemzetközi roaming szerződéseket kötnek egymás között, és így előfizetőik kölcsönösen használhatják a szerződő felek szolgáltatási területeit.

A handover

A handover (körzetátadás) akkor zajlik le, amikor a készülék fennálló beszélgetés közben — a mozgás következtében — egyik körzetből egy másik körzetbe lép át. Az átlépés azzal jár, hogy a készüléknek egy másik (fogadó) cella valamelyik forgalmi csatornájára kell áthangolnia. Az áthangolásnak úgy kell megtörténnie, hogy az információ (beszéd, adat) átvitele hibamentes legyen, és beszélgetésnél a felek ne vegyenek észre semmit a folyamatból.

A handovert a mobilkészülék által küldött mérési adatok alapján egy központi vezérlőegység dönti el, a folyamathoz szükséges jelzéseket (pl. új forgalmi csatorna kijelölése) a beszélgetés változatlan fenntartása mellett kell átvinni.

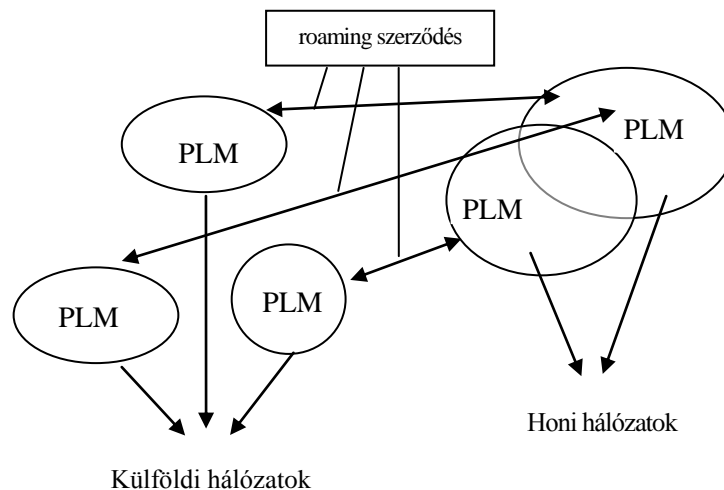
A GSM-RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A hálózat geográfiai struktúrája

A GSM világméretű hálózattá fejlődött az utóbbi öt évben. Ha a teljes GSM rendszer földrajzi kiterjedését egy hatalmas világtérképre naponta felrajzolnánk, megdöbbenve tapasztalnánk, hogy a kép naponta változik, a lefedett területek száma rohamosan nő. Az alábbiakban áttekintjük a hálózat területi felosztását.

GSM/PLMN⁸

A GSM-en belül a legnagyobb területi és szolgáltatási egység a PLMN. A PLMN lényegében egy szolgáltató-üzemeltető cég által lefedett földrajzi terület (többnyire egy országon belül), melyben előfizetői számára biztosítja a mobil távközlési szolgáltatásokat. Hazánkban jelenleg két PLMN működik: a Pannon GSM és a Westel 900.



2. ábra. PLMN hálózatok együttműködése

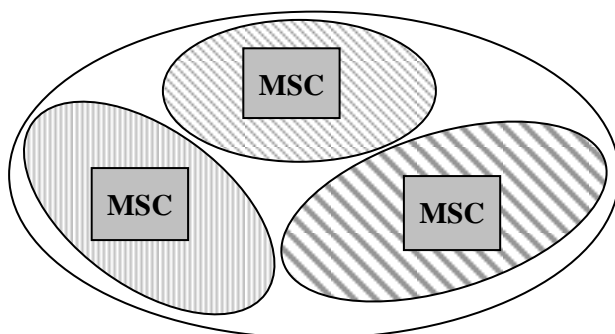
MSC⁹ szolgáltatási terület

A PLMN-en belül alakítják ki a szolgáltatási területeket továbbiakban SA¹⁰, melyek valójában egy-egy mobil kapcsolóközpont MSC körzeteinek tekinthetők.

⁸ Public Land Mobile Network — Közcélú Földi Mobil Hálózat

⁹ Mobile Switching Centre — mobil kapcsolóközpont

Az új előfizetők adatai belépéskor mindig abban a központban lesznek adminisztrálva, mely környezetében legnagyobb valószínűséggel tartózkodik.



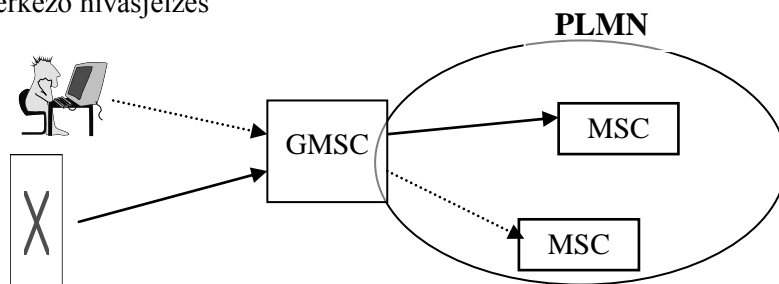
3. ábra Szolgáltatási körzetek a PLMN-en belül

A szolgáltatási területek kialakítása, nagysága nyilvánvalóan függ az előfizetők várható számától, a forgalom becsült nagyságától. Ha egy SA kinötte lehetőségeit (pl. a kapcsolóközpont korlátozott kapacitása miatt), új szolgáltatási terület kialakítására vagy a központ kapacitásának növelésére van szükség.

GMSC (Gateway MSC)

A PLMN és más külső hálózatok közti kapcsolatot (pl. más mobil hálózatok, vezeték nélküli nyilvános távbeszélő hálózatok, ISDN, stb.) a GMSC biztosítja nemzetközi és belföldi viszonylatban. Minden hívásjelzés, mely az említett hálózatokból érkezik az adott PLMN-be, a GMSC-be érkezik először, majd a jelzések alapján onnan tovább irányul a megfelelő központ körzetbe SA-ba. A GMSC valójában (4. ábra) az egyik kapcsolóközpont (MSC) része, és továbbírányítási (routing) feladatokat lát el.

Külső hálózatokból
érkező hívásjelzés

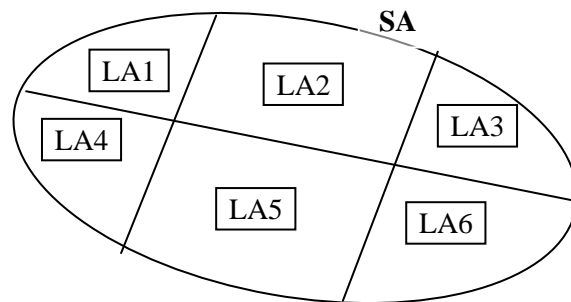


4. ábra. A GMSC feladata

¹⁰ Service Area — szolgáltatási terület

Lokációs körzet

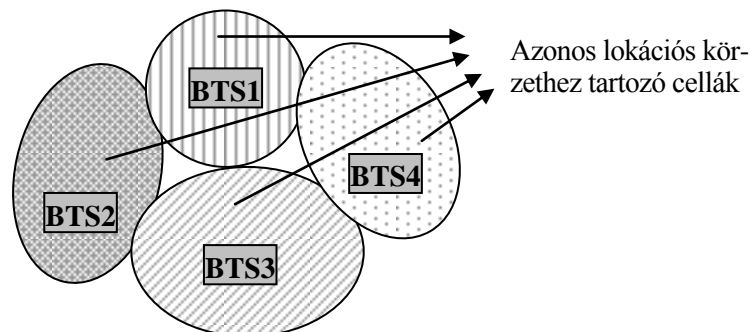
A mobil rendszerek alapvető jellemzője, hogy a mozgó előfizető aktuális helye mindenkor regisztrálva van annak érdekében, hogy az előfizető bármikor elérhető legyen (pl. hívás érkezik felé). A helymeghatározás céljából a PLMN-en belül ún. lokációs vagy forgalmi körzeteket¹¹ alakítanak ki. A körzet azonosító kódját a mobilkészülék a BTS által küldött jelzéscsatornán folyamatosan fogja, így ennek megváltozását is érzékeli. A mobilkészülék a mozgás során minden esetben maga kezdeményezi a lokációs körzet megváltozása esetén helyzetmeghatározásának frissítését. Ezt a folyamatot hívjuk „location updating”-nek.



5. ábra. Szolgáltatási területeken belül kialakított lokációs területek

Cellák

A hálózat alapsejtjei a cellák, melyek lényegében egy-egy adó-vevő állomás sugárzási körzetét jelentik. Az adó-vevő állomást bázisállomásnak¹² hívjuk. A bázisállomások helyének meghatározása, a cellás struktúra kialakítása a mobilhálózat tervezésének sarkalatos pontja. Ezzel a problémával egy kicsit később bővebben foglalkozunk.

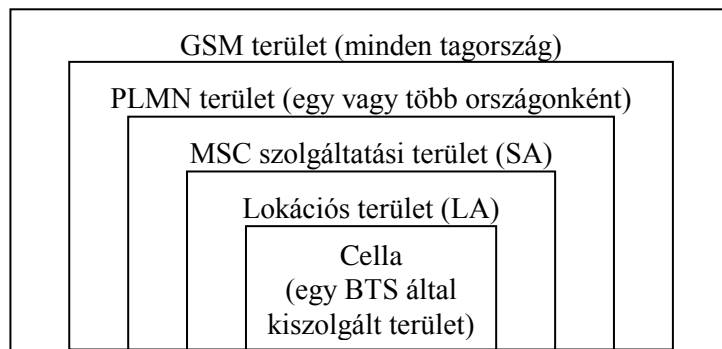


6. ábra. Cellák egy lokációs körzeten belül

¹¹ LA — Location Area

¹² továbbiakban BTS — Base Transceiver Station

Egy lokációs körzethez több bázisállomás is tartozhat, így hívásjelzés esetén — mivel a készülék helyét csak a központban tárolt LA azonosító jelzi, az LA-hoz tartozó BTS „keresi” a mobilkészüléket. A GSM területi felosztását szemlélteti az alábbi összefoglaló 7. ábra.



7. ábra. A GSM geográfiai felépítése

A GSM rendszer modellje, funkcionális felépítése

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

- kapcsoló alrendszer¹³;
- bázisállomás alrendszer¹⁴;
- működtetési és üzemfelügyeleti alrendszer¹⁵.

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 ETSI szabványoknak megfelelően.

A kapcsoló alrendszer (SS)

A mobil kapcsolóközpont MSC a szíve minden cellás rádiórendszernek. Ez felel a hívótól a hívottig a hívás irányításáért és kapcsolásáért. Úgy is fogalmazhatunk, hogy ez menedzseli a hívást, mivel felel annak elindításáért, irányításáért, ellenőrzéséért és megszakításáért, az MSC-közi átadásért és kiegészítő szolgáltatásokért, és végül a díjszámlálási információk generálásáért is. Egyben az interface szerepét is ellátja a GSM és a nyilvános telefon- és adathálózatok között. Az MSC ezen kívül más, ugyanahhoz a hálózathoz tartozó MSC-hez és más GSM PLMN-hez is csatlakozik.

¹³ SS — Switching Subsystem

¹⁴ BSS — Base Station Subsystem

¹⁵ OMS — Operation and Maintenance Subsystem

Az MSC-hez kapcsolódva két fontos adatbázis tárol adatokat az előfizetőkkel kapcsolatban. Az egyik a honos meghatározó regiszter¹⁶ (HLR), mely regisztrált előfizetői információkat tárol például az előfizetési szintekről, kiegészítő szolgáltatásokról és az előfizető készülékének aktuális helyéről. Ha az előfizető felé hívás érkezik, a vezérlés először mindig a HLR felé irányul, hiszen csak az innen kiolvasott aktuális adatok alapján lehet az előfizetőt megtalálni, illetve a rendszerhez való hozzáféréseinek jogosultságát ellenőrizni. A HLR-ben az adott PLMN (pl. Westel 900) előfizetőinek állandó és változó adatait tárolják. Általában egy, de esetenként több HLR is implementálható.

A látogató-meghatározó regiszter¹⁷ (VLR) azokról a GSM előfizetői készülékekről tárol információkat, melyek a szolgáltatási területen (MSC-hez tartozó Service Area) belül tartózkodnak. A világon található összes GSM előfizető látogatónak számít még akkor is, ha a saját (honos) PLMN-ében tartózkodik. Miközben a GSM előfizető „bolyong” a rendszerben, a HLR és az aktuális (meglátogatott) MSC körzet VLR-je lokációs terület-váltás esetén adatcserét végez, még akkor is, ha a készülék a világ másik végén tartózkodik. Ehhez természetesen az szükséges, hogy a honi PLMN (pl. Westel 900) roaming szerződést kössön a külföldi szolgáltatóval.

A HLR-rel szoros együttműködésben dolgozik a hitelesítési központ¹⁸, amely az előfizető hitelességét, rendszerhez való hozzáféréseinek jogosultságát hivatott ellenőrizni. Az autentikációs eljárást, az AUC-ben tárolt információkat a Repüléstudományi közlemények következő számában részletesen ismertetjük.

Az MSC-hez kapcsolódó készülékazonosító regiszter¹⁹ tárol információt arról, hogy milyen típusú mobilkészülék van jelen pillanatban használatban, és le is tilthat készülékeket, ha azok lopottak, nem engedélyezettek vagy a hálózat működését veszélyeztethető hibájuk van.

A bázisállomás alrendszer (BSS)

Minden cella rendelkezik egy, a szomszédos celláétól különböző frekvenciákon forgalmazó bázisállomással²⁰. A bázisállomás alapvető funkciója a megfelelő besugárzás megteremtése, valamint a rendszer rádióhálózatának szervezése.

A BTS-ek egy csoportját vezérli a bázisállomás-vezérlő²¹, melynek főbb feladatai közé tartozik többek között a handover és teljesítményszabályozás vezérlése. A BSC teremti meg a kapcsolatot a BTS-ek és az MSC között, biztosítja a rádiós interfészen történő kommunikáció szervezését és vezérlését.

¹⁶ HLR — Home Location Register

¹⁷ VLR — Visitor Location Register

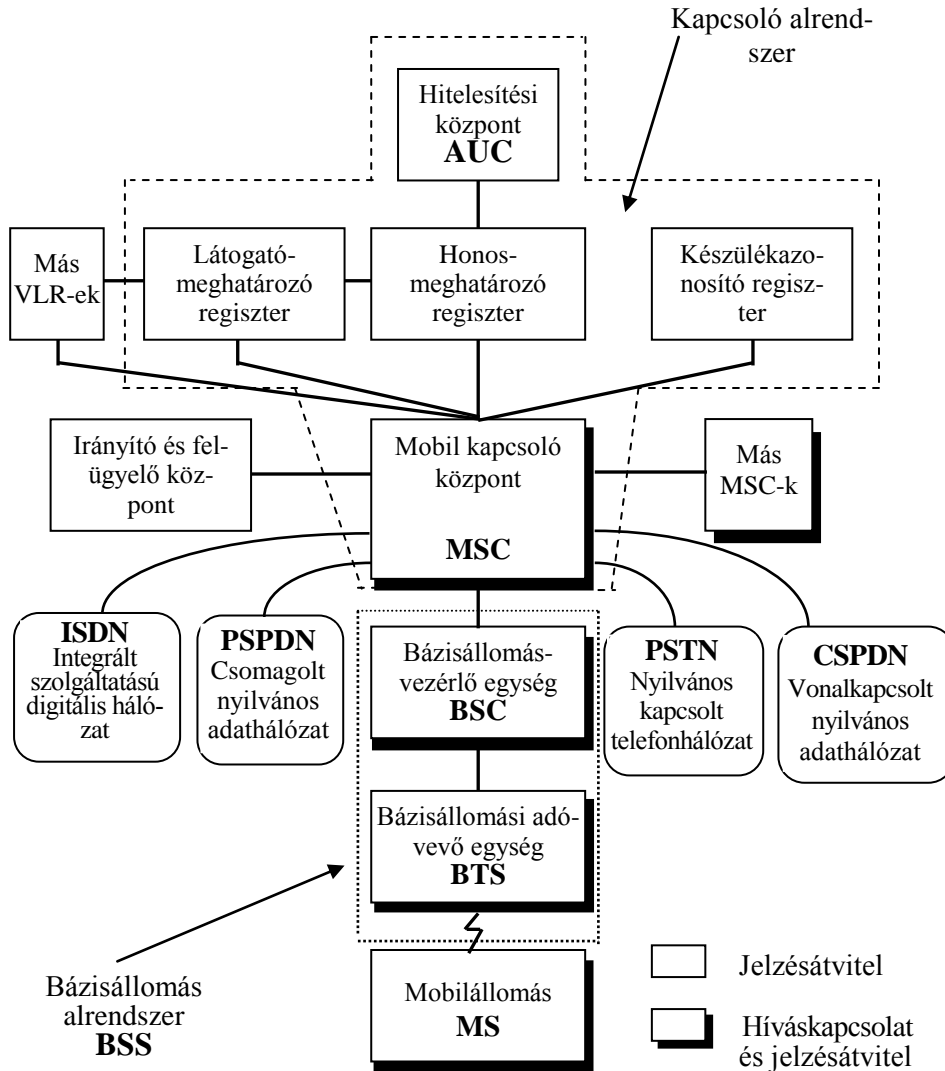
¹⁸ AUC — Authentication Centre

¹⁹ EIR — Equipment Identity Register

²⁰ BTS — Base Transceiver Station

²¹ BSC — Base Station Controller

A mobilkészülék státusa ezekbe a funkcionális csoportokba — a szakirodalom szerint — nem tartozik bele, habár nyilvánvalóan készülék nélkül nem tudunk a rendszerhez kapcsolódni.



8. ábra A GSM funkcionális elemei

Működtetési és üzemfelügyeleti alrendszer (OMS)

Az OMS funkciót az alábbiakban soroljuk fel:

- *cellás hálózat adminisztrációja.*

A nagy PLMN-ekben rengeteg hálózati adatot kell kezelni. Az adatkezelési eljárások és az adminisztrációs eszközök a hálózatot üzemeltető cég hatáskörébe tartoznak. Az adatok típusától függően két nagy csoportot különböztetünk meg:

- *kapcsolási adatok és a mobiltelefon rendszeradatai.* Ide azokat az adatokat soroljuk, melyeket az MSC és BSC tart nyilván. A vizsgálati folyamatok során ellenőrizhető az adatok érvényessége, a kapcsolási út kiválasztása;
 - *cella-adatok.* A PLMN-en belül minden cella rendelkezik cellaspecifikus adatokkal. Az adatbázisból grafikus programok segítségével vázolható fel a hálózat felépítése vagy esetleges módosítása.
- *előfizetők nyilvántartása és adminisztrációja.* Láttuk, hogy a forgalom biztosításához előfizetői regisztereket használ a rendszer. A regiszterek tartalmának egy részét az üzemeltető határozza meg (pl. előfizetői szám, kategória, paraméterek, stb.), másik része pedig előfizetői adatokat tartalmaz (név, cím, stb.);
- *üzemeltetési funkciók.* A PLMN-en számos mérési, tesztelési eljárással biztosítja a folyamatos és megbízható üzemfenntartást. A mérési eredményeket az MSC és BSC szolgáltatja, de az adatok az OMS-be is elküldésre kerülnek statisztikák készítése céljából, melyek pl. a következők:
- Forgalmi mérések különböző földrajzi területeken;
 - Forgalmi mérések a forgalom típusát illetően;
 - Forgalom eloszlásának mérése.

A mérések leginkább előtérbe helyezett területe a cella, hiszen a cellán belüli forgalom hosszú távú figyelése a további hálózatfejlesztési és tervezési folyamatok fontos kiinduló pontja.

A cellás elv megvalósítása

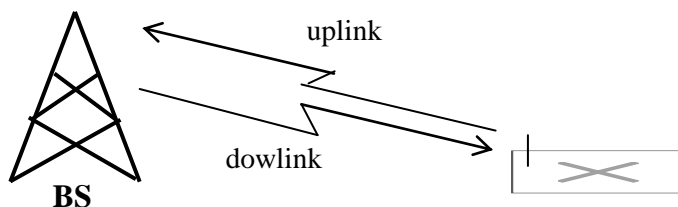
A frekvencia-kiosztás és a többszörös frekvencia-felhasználás elve

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. Minden adásirányú frekvenciának így módon meg van a 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-vevő állomás²² felé, a mobilkészülék irányából érkezik. Downlink az irány az ellenkező

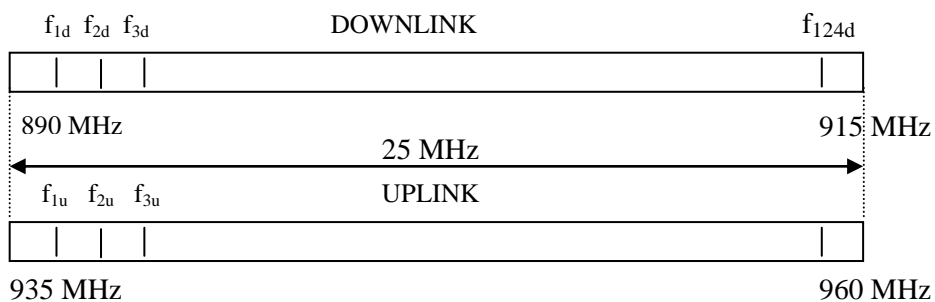
²² BTS — Base Station

esetben, azaz a bázisállomástól a mobilkészülék felé történik az átvitel. Úgy is értelmezhetjük, hogy egyik esetben a magas bázisantenna lenéz, lefelé sugároz (down) a kis mobilkészülék felé, a másik esetben pedig a föld közelében lévő mobil felnéz (up) a bázisantennára (9. ábra).



9. ábra. Az „uplink” és „downlink” irányok értelmezése

A GSM rendszerben a duplex frekvenciasávok kialakítását szigorúan rögzítették az előírások. Ha egy országban több üzemeltető cég is kíván GSM hálózatot kiépíteni, az előírt frekvenciákat fel kell egymás között osztaniuk. A 25 MHz sávszélességű „downlink” és „uplink” sávban 124 vivőfrekvencia, egymástól 200 kHz távolságban helyezkedik el. A vivők duplex távolsága 45 MHz (10. ábra).



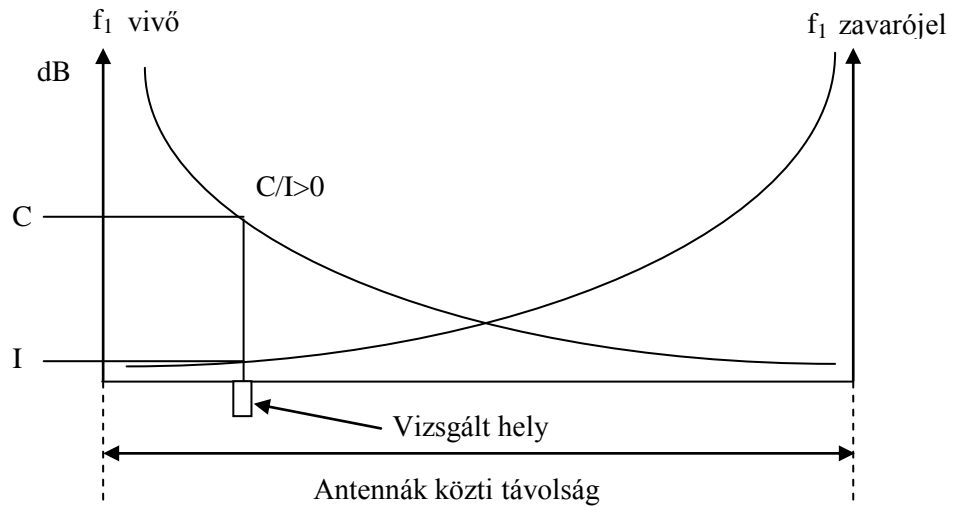
10. ábra. A GSM frekvencia-kiosztása

Tekintetbe véve a vivőfrekvenciák igen csekély számát, a GSM-ben működő kb. 60 millió előfizetőt csak úgy lehet kiszolgálni, hogy a rendelkezésre álló vivőfrekvenciák többszörösen felhasználásra kerülnek. Ugyanis, ha két ugyanazon frekvenciát használó rádiócsatorna egymástól földrajzilag kellő távolságban helyezkedik el, nem lép fel köztük számottevő zavaró hatás, interferencia.

A probléma szemléltetésére definiáljuk az úgy nevezett C/I hányadost²³. A következő ábrán a vízszintes tengelyen a két antenna közti távolságot, a függőleges tengelyeken pedig az f_1 hasznos vivő és a szomszédos antenna által sugárzott

²³ C — Carrier, azaz vivőjel; I — interferenciajel

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.



11. ábra. C/I értelmezése

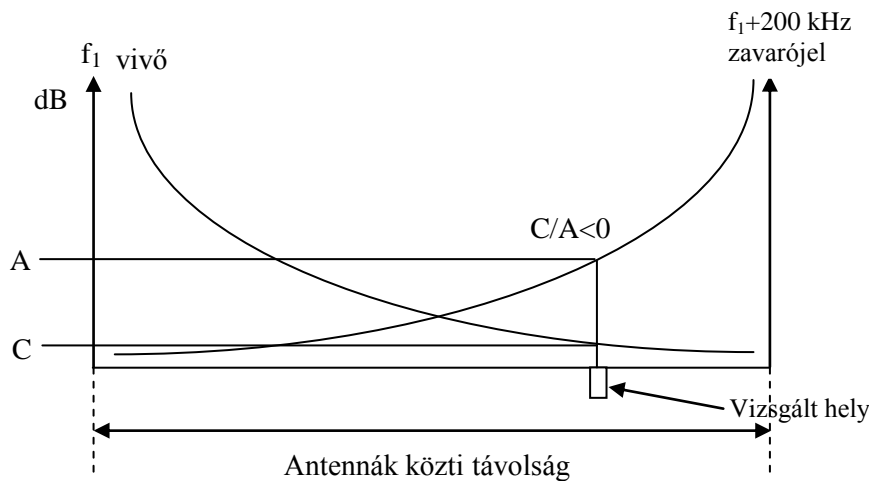
A fenti értelmezésből adódóan a mobilhálózat kialakításánál arra kell törekedni, hogy a hálózat minden pontján a C/I hányados a lehető legnagyobb legyen, azaz az azonos frekvenciákon sugárzó bázisantennák lehetőség szerint megfelelően távol helyezkedjenek el egymástól. Ez a tény gyakorlatilag azt a lehetőséget is kizárja, hogy egymás melletti cellákban azonos vivőfrekvenciák működjenek.

Szigorúbb követelményeket támaszt a rendszer az olyan cellastruktúra kialakításánál, ahol a szomszédos cellákban még egymás melletti vivők (f_1 és $f_1 \pm 200$ kHz) használatát sem engedi meg a lehetséges átlapolódások miatt.

Ennek vizsgálatára definiáljuk a C/A hányadost²⁴. Az előző ábrához hasonlóan ábrázoltuk a C/A értelmezését.

Az előbbieken ismertetett problémák igen fontos szempontjai a hálózattervezések. A cellák kialakítását és a cellaelrendezés szempontjait, lehetőségeit a következő fejezetben tárgyaljuk.

²⁴ C — Carrier, hasznos vivő; A — Adjacent, szomszédos vivő



12. ábra. C/A értelmezése

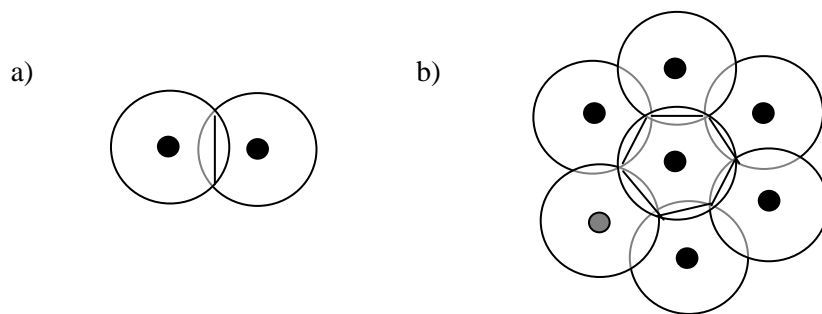
Cellatípusok, cellaelrendezések

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

- a mobilkészülékek 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 határozza meg. A cellás hálózat kialakításánál kétféle antennát használnak: az egyik körsugárzó, mely egyenletesen sugároz 360° -os szögben, a másik szektor-sugárzó, mely általában 120° -os szektort lát el.

Ha két egyforma körsugárzó antennával ellátott cellát helyezünk egymás mellé a 13/a. ábrán látható módon, a cellák érintkezésénél — ott, ahol azonos a térerő — egy egyenes vonalat rajzolunk. Ha műveletet még ötször megismételjük, a b/ ábrán látható elrendezést kapjuk, melyből kirajzolódik a középső cellába rajzolható szabályos hatszögidom. 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.



13. ábra. Cella hexagonális közelítéssel

Az előző fejezetben ismertetett C/I arány meghatározza a kialakítandó cellaelrendezés frekvenciacsoportjainak számát, melyet F -fel jelölünk. Ha az összes felhasználható vivőfrekvencia 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/R hányados a lehető legjobb legyen (azaz az egymás melletti vivők 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 a C/R arány.

Az Ericson GSM rendszereiben $7/21$, $4/12$ és $3/9$ frekvencia-elrendezési mintát használ. Ez a következőket jelenti:

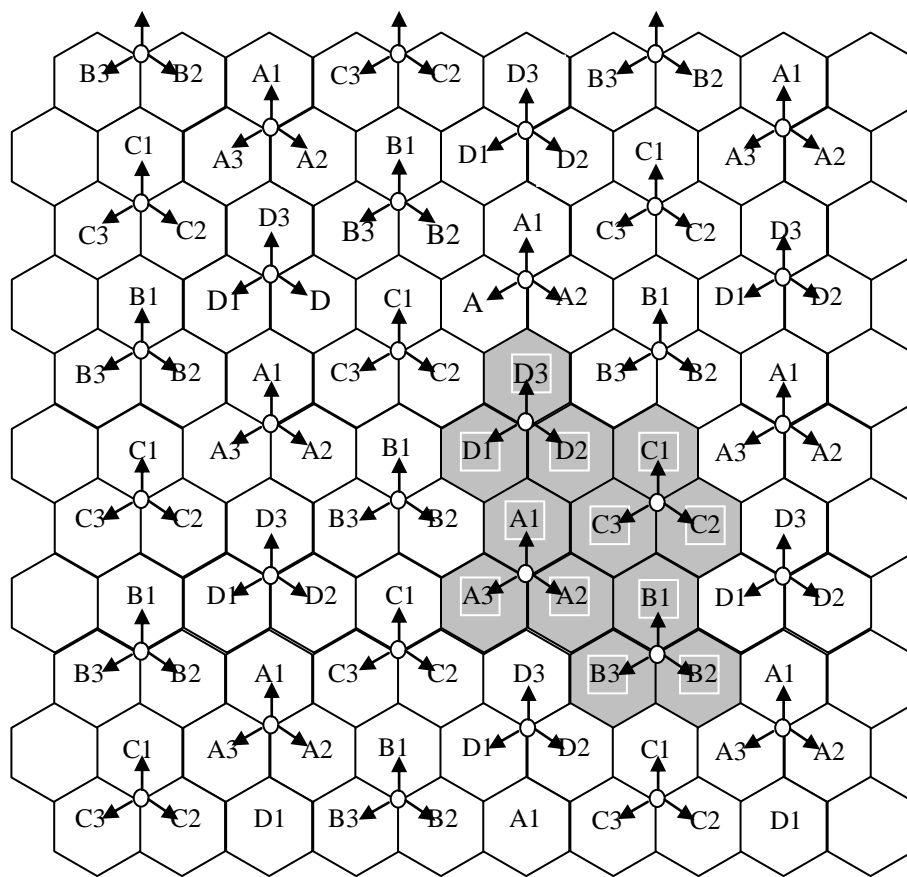
- a cellacsúcsokban elhelyezkedő antennák 120° -os szögben sugározzák be a környező cellákat;
- minden cella két 60° -ban sugárzó adóantennát és két 60° -ba osztott (diverzitív) vevőantennát használ;
- a cellákat hatszögekkel közelítjük.

Feltételezzük, hogy a cellákon belül a forgalom eloszlása homogén. A cella rádiusz R pontosan egyharmada a bázisállomások közötti távolságnak, ha szektorcellás elrendezést használunk.

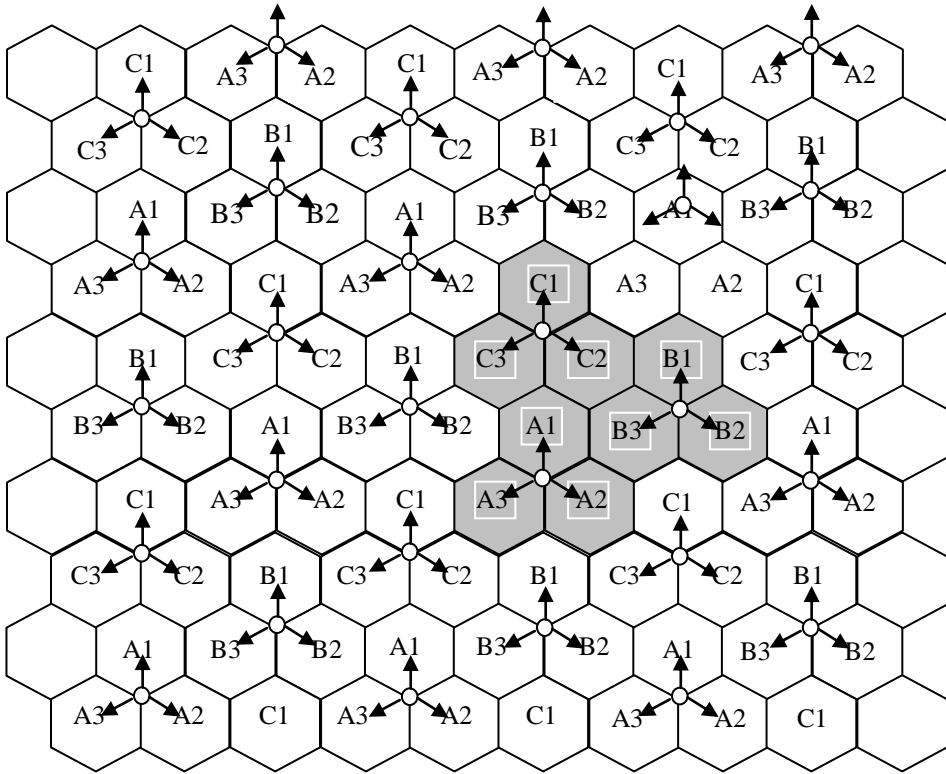
Azon szomszédos cellák csoportjait, melyekben az összes frekvenciát felhasználjuk, cluster-nek (kötegnek) nevezzük.

A 14. ábrán a $7/21$ cellamintát ábrázoltuk, mely 21 frekvenciacsoportot és 7 állomást foglal magába. A vastagon bekeretezett rész a cluster, melyet többszörösen felhasználva — a clustereket egymás mellé helyezve — alakítható ki a hálózat.

A 15. ábrán láthatjuk a $4/12$, a 16. ábrán pedig a $3/9$ cellamintát, azonban megjegyezzük, hogy ebben az elrendezésben nem biztosítható a szomszédos csatornák használata az egymás melletti cellákban.

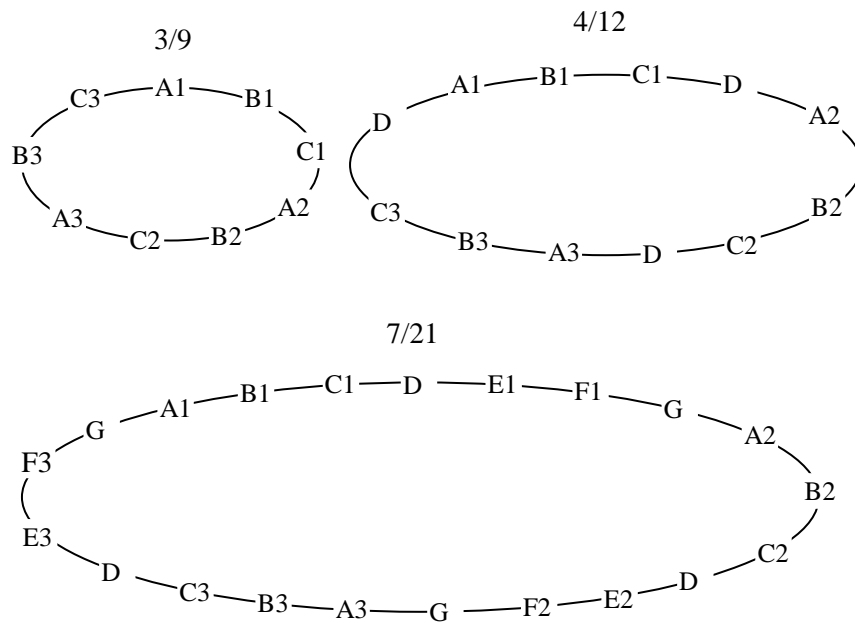


15. ábra. 4/12 cellaminta



16. ábra. 3/9 cellaminta

A 17. ábrán a három elrendezés szokásos jelölési módját ábrázoljuk, mellyel több helyen is találkozhatunk a vonatkozó szakirodalmakban.



17. ábra.

A szomszédos frekvenciákat használó állomások távolságát a három esetben a következőképpen lehet meghatározni:

$$7/21 \quad d = 63^{1/2} \times R \cong 7,9 R$$

$$4/12 \quad d = 6 \times R$$

$$3/9 \quad d = 3 \times 3^{1/2} \cong 5,2 R$$

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.

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
Csatornaszám	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 csatornacsoportok 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 bo-

nyolultságú 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 nagytávolságú 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 geográfiai inhomogenitás. Kiscellás környezetben megszorodnak az interferenciaproblémák, 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 elhelyezkedését illetően, hiszen a rádióhullámok terjedésének várható módját (a reflexiók, árnyékos területek meghatározását) csak így lehet meghatározni. A cellaméret 300—1000 méter;
- (Vegyük 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-centrikussá vált, és hihetetlen ütemben nőtt a mobiltelefon használók száma. A fővárosban eredetileg kialakított mobilhálózatok már régen kinőtték magukat, ezért csak folyamatos fejlesztésekkel tartható fenn a megnövekedett forgalom ellátása. A frekvencia újrafelosztásánál 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” zérus, a hidakat leszámítva. A raszter szerinti állomáselrendezést szinte képtelenség ilyen viszonyok mellett elképzelni.)
- *Mikrocellák*: Mikrocellás környezetnek számít a vasúti pályaudvarok, repülőterek, nagyobb üzletközpontok, telephelyek területe. A mikrocellák kialakítása ma még nem terjedt el a GSM-ben, azonban az Ericson által kifejlesztett CT3 mikrocellás rendszer már részben illeszkedik a GSM előírásaihoz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

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