

5. fejezet – Mobiltelefon hálózatok

A mobiltelefon és előzményei

A mobil adatátvitel (esetünkben a mobil telefonia → hang és adatátvitel) alapvetően a helyhez kötöttségen túlmutató technológia. A kliensek a lefedettség ismeretében akár országok, kontinensek között is változtathatják a helyzetüket.

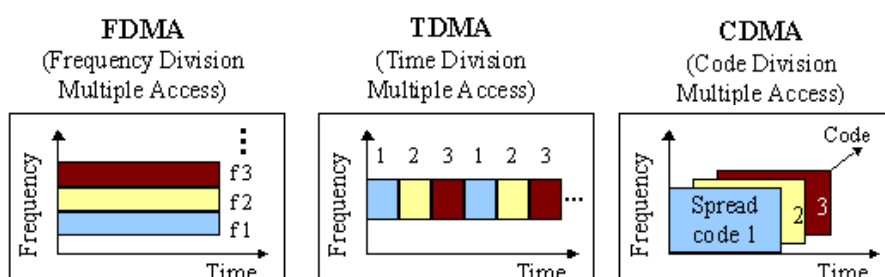
A mobil kommunikációt (mint hang alapú kommunikációt) meg kell különböztetnünk a PMR (Personal Mobile Radio) közismertebb nevén „walky-talky” rendszertől [446MHz, és a CEPT rádióamatőr sávok egy része], illetve a CB (Citizen's Band) rádiózástól [26.960kHz és 27.410kHz között], ahol az azonos frekvencián dolgozó kliensek kölcsönösen hallják egymást. Ez utóbbi két rendszer decentralizált felépítéséből sok területi illetve identifikációs korlát következik. A hatótávolság jellemzően nem haladja meg a tíz kilométert. Egyetlen hasonlóságot lehet megemlíteni a korai, például a GSM rendszer első generációival (0G, 1G), ez pedig az analóg hangátvitel.

A helyzetváltoztatás, mint fogalom más megközelítést igényel realtime forgalmazó online; éppen nem forgalmazó, de üzemkész offline; illetve kikapcsolt kliensek esetében. Nem szabad megfeledkezni a rendszerbe kódolt sebességmaximumokról sem, hiszen az adatforgalmazás egy 130km/h sebességű autóval, vagy egy akár 300km/h sebesség feletti vonattal még kiszolgálásra kerül, de pl. egy „házi készítésű rakéta” sebessége már meghaladja az „átlag polgári felhasználás sebességszintjét” egyrészt a mobil kommunikációs illetve a navigációs (GPS, GLONASS, stb.) rendszerekben is.

Egy korábbi órán már említésre kerültek a Simplex, Half-Duplex illetve Full-Duplex fogalmak, melyek a kommunikáció iránya és egyidejűsége alapján osztályozzák a kommunikációt. A hálózatokat a hozzáférési technológiák alapján is vizsgálhatjuk:

- Frekvencia osztású többszörös hozzáférés (FDMA)
- Terület osztású többszörös hozzáférés (SDMA)
- Idő osztású többszörös hozzáférés (TDMA)
- Kód osztású többszörös hozzáférés (CDMA)
(Frequency/Space/Time/Code Division Multiple Access)

Az FDMA és SDMA már a legkorábbi analóg hálózatokban megjelent (~1940-), míg a TDMA és a CDMA a digitális hálózati jellemzőkhöz kötődik (~1990-)



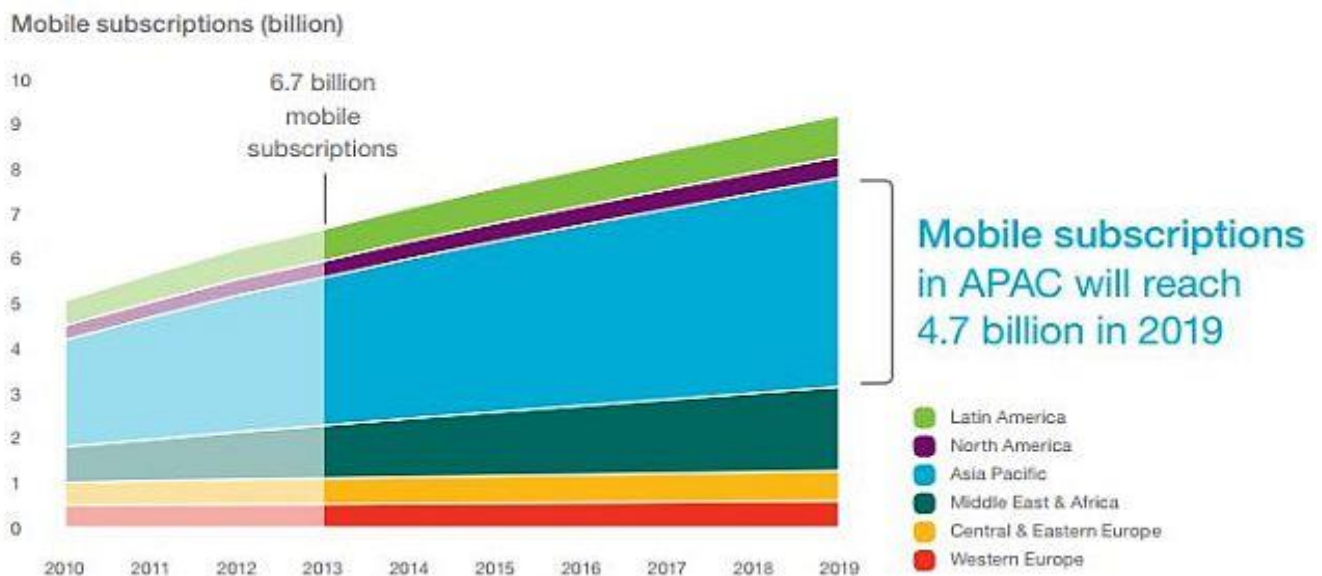
Történeti összefoglalás

A mobil kommunikáció több kontinensen eleinte egymástól független módon indult el, más rendszerek léteztek az USA-ban, más volt Európában, és más volt Japánban. Ezen rendszerek azonban néhány generáció alatt „összekoptak” egymáshoz idomulva fejlődtek, és így átjárhatóvá váltak a közös szabványok mentén. A közös kiindulási pont a cella szervezés jelentőségének a felismerése volt.

- 1921. A Detroit-i rendőrség a 2MHz-es sávban létesít kapcsolatot az autóival, ami mai szemmel nézve, és funkcionalitását tekintve inkább a személyhívóra hasonlított, hiszen csak jelzéseket továbbított, beszédet nem.
- 1928. A Detroit-i rendőrségnél április 7-én már megindult az egyirányú (Simplex) beszéd kommunikáció, majd egy évre rá a kétirányú Half Duplex beszéd kommunikáció is.
- 1946-ban dolgozták ki a BELL Telephone System fejlesztői a cellákra osztás alapelvét. Ezt később kombinálták az FDMA-val, de még ezzel a módszerrel is csak egy hívás volt továbbítható egy adott frekvencián.
- 1982-ben az Európai Telefon és Posta társaságok konferenciáján (Conference of European Post and Telegraphs – CEPT) megalapítottak egy társaságot (Groupe Special Mobile) az új, egységes európai szabvány kidolgozására. Ma a GSM már a Global System for Mobile, tehát a világméretű mobil hálózat/rendszer, (mint szabvány) elnevezés rövidítéseként használatos. A GSM (mint csoport) célkitűzései a következők voltak:
 - közös európai rendszer
 - javított beszédminőség
 - hatékony rádiófrekvencia kihasználtság
 - megfelelő biztonság, mind a felhasználó, mind az átvitt adatok tekintetében
 - kompatibilitás az ISDN-nel és más adatátviteli szabványokkal
- 1985-ben döntés született arról, hogy az új rendszert digitális hálózatként valósítják meg. Ez komoly szándék, hiszen egészen addig minden létező mobil hálózat analóg volt.
- Gazdasági szempontokat mérlegelve az új hálózatot „nyitott rendszer”-ként határozták meg, tehát a különböző részek közt jól meghatározott felületeket, szabványokat létrehozva biztosították, hogy ugyanazon hálózat különböző részeit, különböző cégek szállítsák.
- További cél volt, hogy egy adott országban, lehetőségek szerint több, az új szabványnak megfelelő hálózat épüljön, ezzel is a piaci versenyt erősítendő.
- Magyarországon 1990-ben indul el a Westel450 (Westel 0660) első generációs analóg mobil szolgáltatás, és egészen 2003. június 3-ig üzemben is marad.

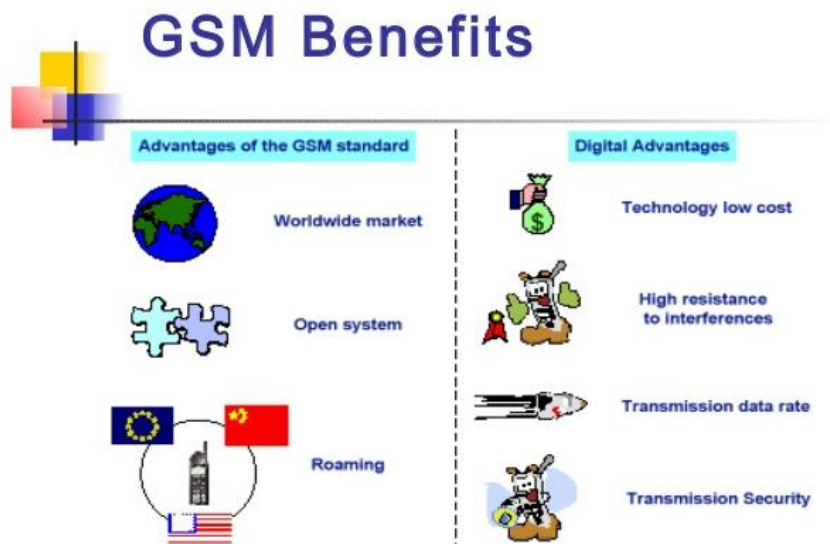
A két gazdasági szempont közül az első a beszállítók versenyét, míg az utóbbi a szolgáltatókét volt hivatott elősegíteni. Jó példa ezek felhasználói szempontból jótékony hatására Magyarországon a Westel (T-Mobile) után először a Pannon (Telenor), majd a Vodafone belépésekor lezajlott belföldi és nemzetközi tarifacsökkentések... Mióta a szolgáltatók a globális piacon jócskán átalakultak, és „beszélő viszonyba” vannak egymással, a tarifák „érdekes módon” roppant hasonlóak lettek...

- 1986. Az első rendszer tesztje Párizsban (bár a fejlesztésekben a skandináv országok jártak az élen)
- 1987. 13 európai ország vállalja, hogy 1991. július 1-jére egy működő GSM hálózatot felállít, valamint megtörténik a használt frekvenciák elosztása is a 900MHz-es sávban (890-915MHz uplink, 935-960MHz downlink).
- 1989. A GSM szabványt nyilvánosságra hozzák.
- 1991. július 1. Az első hivatalos GSM hívás (Nokia termékeken)
- 1992. A fővárosok és repterek lefedettek, új frekvenciát tesznek szabaddá a GSM számára, az 1.800MHz-es sávban (1.710-1.785MHz uplink, 1.805-1.880MHz downlink)
- 1993. A főbb városok lefedettek, 32db különböző GSM hálózat a világon, de még kevesebb, mint 1 millió előfizető
- 1995. A főbb közlekedési útvonalak lefedettek, 117db GSM hálózat üzemel Európában – főleg a nyugati félén... Ezek mellett már üzemelő hálózatok: Ausztrália, Dél-Afrika, Japán, USA 1.900MHz, kb. 13 millió előfizetővel
- 1998. Több mint 120 millió előfizető.
- Napjainkban sok százmillió mobil előfizető van a világon, és az előfizetők száma napról napra folyamatosan növekszik minden régióban, leggyorsabban Ázsiában...



A GSM rendszer (várakozáson felüli) sikere több okra vezethető vissza. Nyugat-Európában a meglévő vezetékes telefonok mobilitása volt a hajtóerő, Kelet-Európában pedig a kis számban létező vezetékes telefonok közvetlen alternatíváját jelentette a GSM rendszer.

- Digitális adatátvitel, könnyen javítható torzulások (bitmintát visszaállítani egyszerűbb, mint „hullámokra rakódott hullámokat” kiszűrni) tehát jobb a beszéd minőség.
- A használt frekvenciák közti különbség nyolcszorosa az analóg hálózatban használhoz képest. Így csökken az interferencia, egy frekvencián több felhasználó adatai továbbíthatók, ami hatékony frekvencia kihasználást eredményez.
- Mivel digitális hálózatról van szó közvetlenül továbbíthatók a számítógépek (vagy pl. fax) által előállított adatok (az adattovábbítás aránya gyorsan nő a beszéd átviteléhez képest), továbbá a hálózat ISDN kompatibilis.
- A hálózat kódolja a beszédet, így biztonságos a hálózat használata, nem hallgathatja beszélgetésünket minden lelkes rádióamatőr.
- A hálózatok szabványosításával egyszerűvé válik a külföldre utazók elérése/telefonálása, a roaming szerződések révén. Csupán az adminisztrációt kell megoldaniuk a szolgáltatóknak. (Az ügyfeleknek meg csak fizetni kell..., de ha a hírek igazak, akkor már csak 2015 év végéig – legalábbis az EU-n belül.)
- A széleskörű elterjedés révén mind a fejlesztés, mind a használat relatíve gazdaságosabb lehet.
- Kényelmi szolgáltatások
 - hívástartás, hívásvárakoztatás, hívásátirányítás
 - hívószámkielzés
 - hangposta
 - terület alapú szolgáltatások (lokalizáció kijelzése)

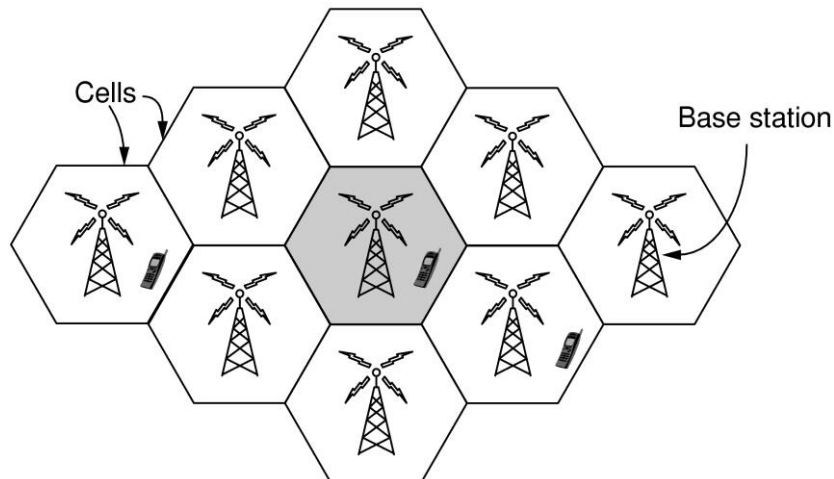


A mobiltelefon generációi

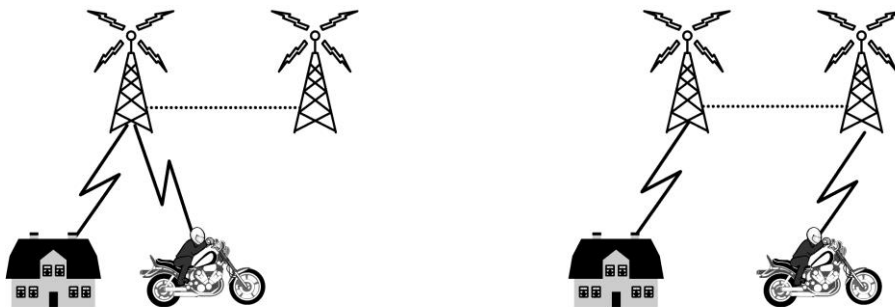
- 0G – Egyrészt az 1970-ben kifejlesztett automatikus hívásátadás előtti megoldások összefoglaló neve. Másrészt, az autonóm, semmilyen más rendszerhez nem kapcsolódó, jellemzően egy frekvenciát használó analóg megoldások összessége. [automatikus hívásátadás: ez teszi lehetővé, hogy egy felhasználó beszéd (vagy adat-) kapcsolat közben egyik cellából (bázisállomástól) egy másikba lépjen át a kommunikáció megszakadása nélkül]
- 1G – Az 1980-as évektől induló tiszta analóg rendszer. A fő különbség a 0G rendszerhez képest, hogy több frekvenciát (csatornát) használ, támogatja az automatikus hívásátadást, és közvetlenül kapcsolható a meglévő vezetékes telefonhálózathoz. Amerikában az AMPS (Advanced Mobile Phone System), Európában a NMT (Nordic Mobile Telephony) terjedt el.
- 2G – Indulása hivatalosan 1991-ben Finnországban. A legfontosabb tulajdonsága a digitális jelátvitel. A digitálisan kódolt hangot egyszerűen lehet tömöríteni, így egyszerre sokkal több csatornát lehet használni. A cellák és a készülékek mérete is látványosan csökkent. A készülék méret csökkenését a kisebb energiafogyasztás tette lehetővé.
- 2.5G – Indulása hivatalosan 1999-ben GPRS (General Packet Radio Service) megjelenésével. Innentől beszélhetünk érdemi mobil internetről. Az új kommunikációs szabványok WAP (Wireless Application Protocol) és EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) sebességnövekedést hoztak.
- 3G – Indulása hivatalosan 2001-ben, az UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [más néven WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)] szabványosítása után. Az adatátviteli sebesség már a megjelenéskor 14Mbps letöltés és 6Mbps feltöltés volt.
- 4G – Indulása hivatalosan 2006-tól, két új szabvány a WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) és az LTE (Long Term Evolution) megjelenésével (Magyarországon 2011. ősztől kísérleti jelleggel Budapest egy részén már működött. Az első vidéki LTE antenna egyetemünk C épületének tetején található!). Az adatátviteli sebesség fix környezetben 1Gbps, mobilkörnyezetben pedig akár 100Mbps adatátviteli sebességet, mint elvi maximumot érhet el.
- 5G – Indulása hivatalosan 2019. április 3-án [helyi idő szerint 23:00-kor], Dél-Koreában, két nappal később az USA-ban is. Gyorsabb válaszidő és késleltetés (kis latencia), nagyobb lefedettség (több ügyfél), nagyobb sebesség (nagyobb sávszélesség, felhasználás specifikus sávokban), akár 10Gbps letöltési sebesség. Az 5G rendszer képes megfelelő infrastruktúrát biztosítani az IoT (Internet of Things) és az Okosváros (Smart City) érdemi megvalósításához is.

A mobil hálózatok gyakorlati megvalósítási megoldásai

A 3G cellafelépítés legegyszerűbben a méhsejt felépítéséhez hasonlítható.



A cellák kialakításakor (a korábbi generációk tapasztalatait felhasználva) cél volt a rádiós interferencia minimalizálása. Ehhez arra volt szükség, hogy a szomszédos cellákba egymást nem zavaró csatornák legyenek kiosztva. Távoli cellák esetében természetes ugyanaz a csatorna is felhasználásra kerül. A hívásátadás folyamatát jól szemlélteti a következő ábra.

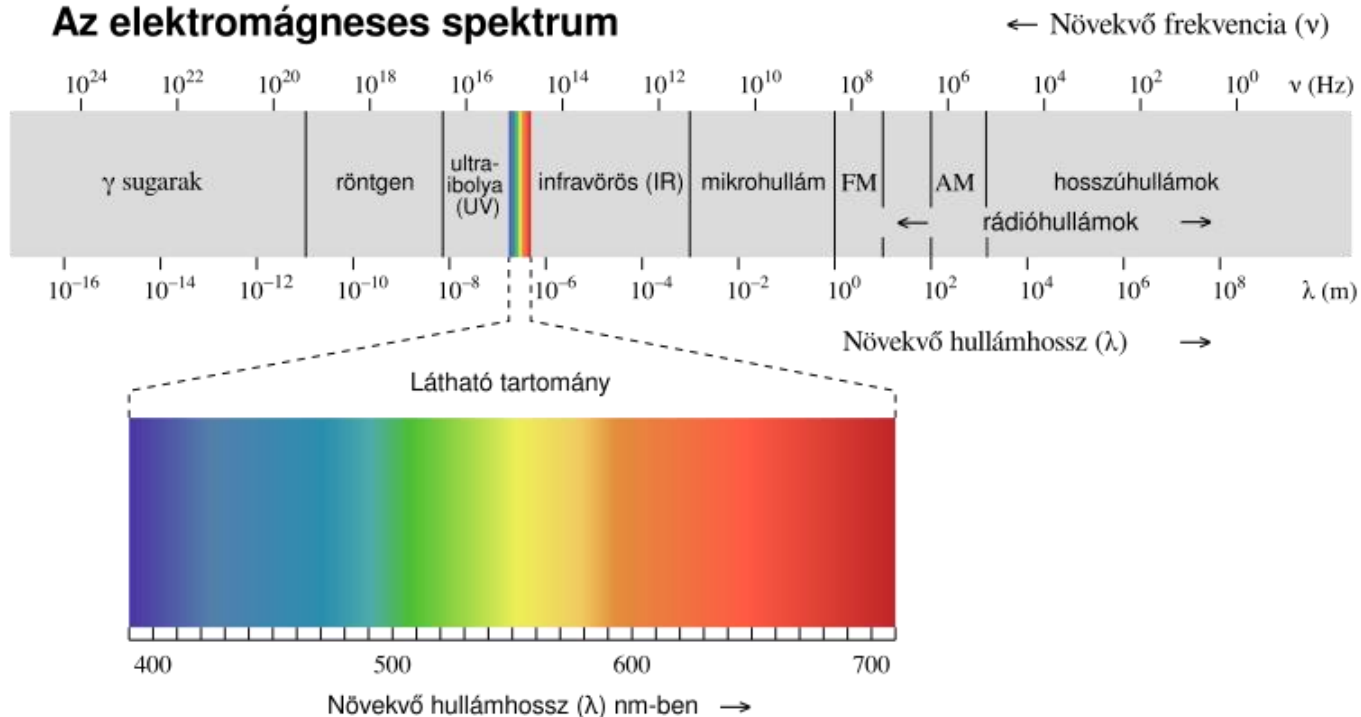


[interferencia: Az interferencia egy fizikai jelenség, akkor következik be, ha két különböző forrású, koherens (összetartozó) hullám találkozik, azaz olyan hullámok, amelyek fáziskülönbsége állandó. Ami nem azonos a fáziseltolódással. Ekkor létrejönnek olyan pontok a térben, ahol a hullámok maximálisan erősítik, illetve olyanok, ahol maximálisan gyengítik egymást (annak függvényében, hogy az egyes pontokba a két hullám milyen fáziskülönbséggel érkezik).]

A 1G rendszerben még minden egyes hanghívás külön frekvenciasávban került továbbításra (analóg módon), viszont a digitális átvitel lehetővé teszi a frekvencia spektrum hatékonyabb kihasználását. Így egy adott frekvencia csak egy cellában volt használható. A 3G rendszerben elvileg minden cellában minden frekvencia használható, de a már korábban említett interferencia itt is gyakorlati határt szab az elméletnek. A 3G cellák irányított antennákkal szektorokra oszthatók, így a használható csatornák száma lényegesen megnő.

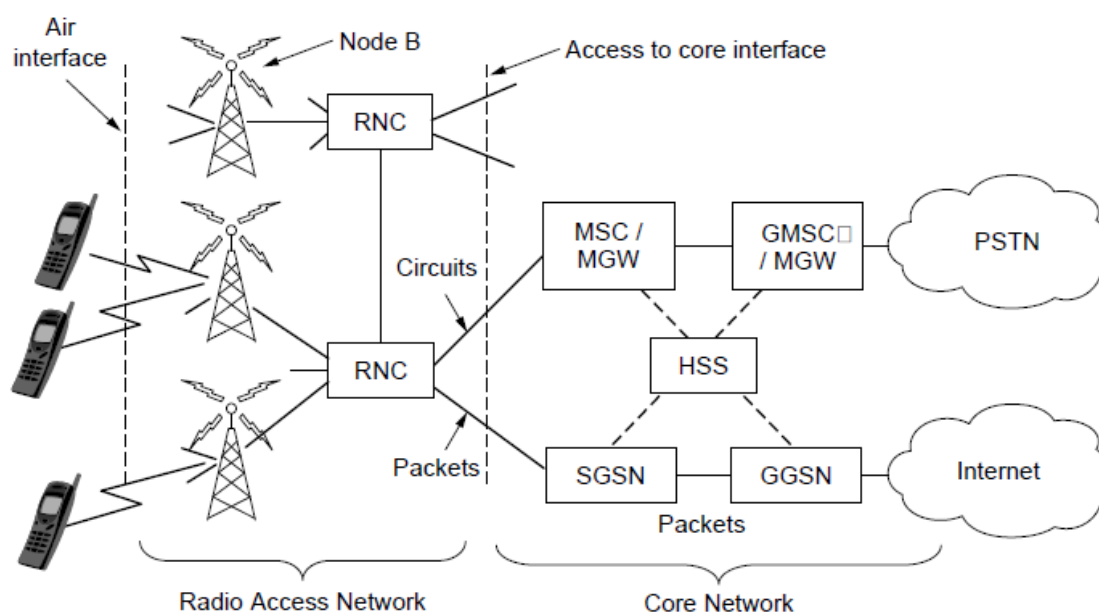
[spektrum: Egy frekvenciatartomány összetevőinek együttese, illetve eloszlása.]

Az elektromágneses spektrum



A mobiltelefon hálózat és az internet első szembeötlő különbsége a fizikai rétegben van. A mobilhálózat esetében a Rádiós Interfész (Air Interface) az a protokoll, ami a mobil eszköz és a Bázisállomás (Cellular Base Station) közötti kapcsolatot biztosítja. Egy tisztán UMTS 3G mobiltelefon hálózat felépítése a következő. Maga a rádiós interfész a CDMA azaz a kód osztásos technológián alapul. A mobiltelefonos bázisállomás és a Vezérlő Csomópont (RNC – Radio Network Controller) együtt alkotják a Rádiós Hozzáférési Hálózatot (RAN – Radio Access Network). A mobiltelefon hálózat további részei szállítják tovább a rádiós hozzáférési hálózat csomagkapcsolt és áramkörkapcsolt adatforgalmát az internet és/vagy más telefonhálózatok felé. Összefoglaló néven ezeket a komponenseket Maghálózatnak (Core Network) hívjuk.

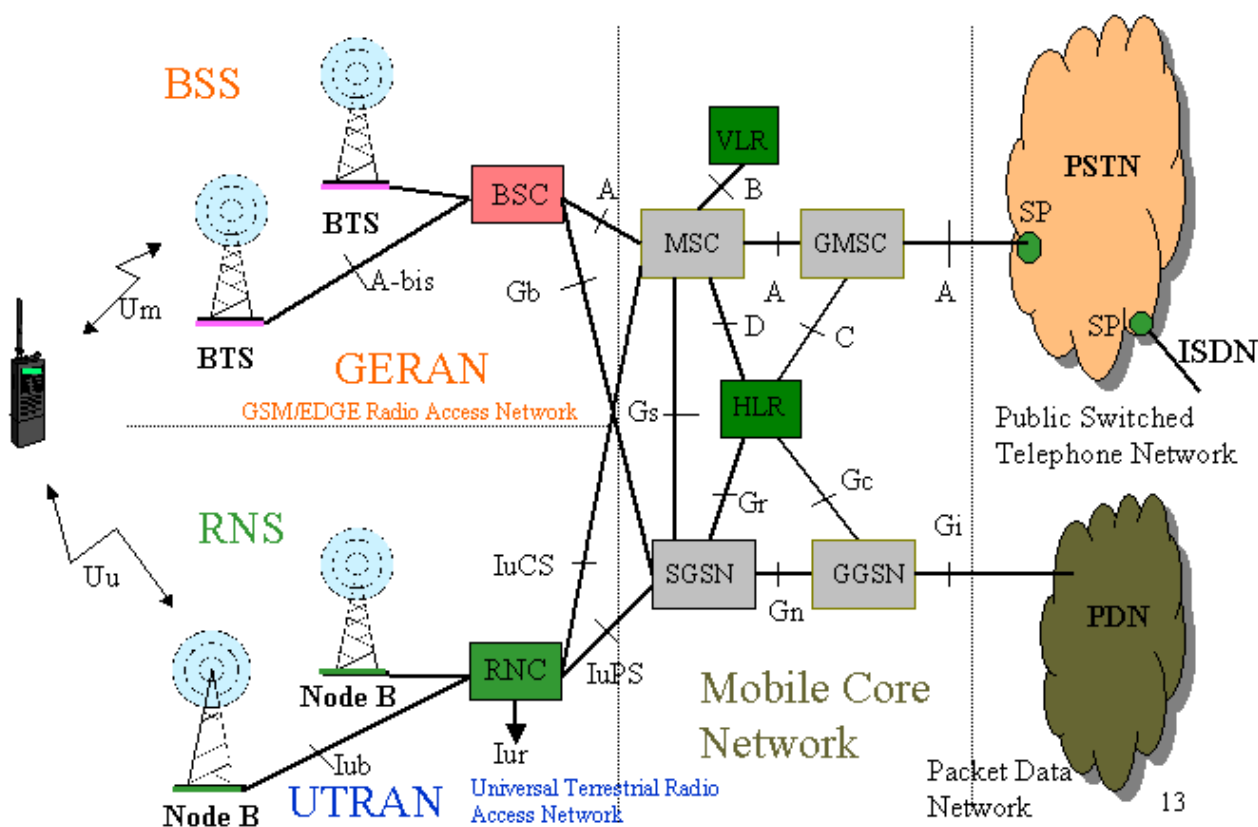
[Csomagkapcsolt: Internet analógia; Áramkörkapcsolt: klasszikus telefon analógia]



Az egyes komponensek neve és feladata:

- A Mobil Kapcsolóközpont (MSC – Mobile Switching Center), az Átjáró Mobil Kapcsolóközpont (GMSC – Gateway Mobile Switching Center) valamint a Médiaátjáró (MGW – Media Gateway) a korábbi mobil- és vezetékes hálózatokkal, összefoglaló néven a Nyilvános Kapcsolt Telefonhálózat-tal (PSTN – Public Switched Telephone Network) történő adatcserét biztosítják.
- Kiszolgáló GPRS Támogató Csomópont (SGSN – Serving GPRS Support Node) és a Átjáró GPRS támogató Csomópont (GGSN – Gateway GPRS Support Node) a csomagkapcsolt hálózatokkal, jellemzően az internettel történő kapcsolatot biztosítják.
- Az Otthoni Előfizetőt Kiszolgáló Rendszer (HSS – Home Subscriber Server) tartja számon az előfizető helyzetét, autentikációját, jogosultságait. Ez teszi lehetővé például az elvesztett mobil eszközök megtalálását.

A 3G UMTS hálózatok jellemzően a már meglévő GSM hálózatokkal együttműködnek, rádiós hálózati alrendszereik összekapcsolásával biztosítva a nagyobb lefedettséget.



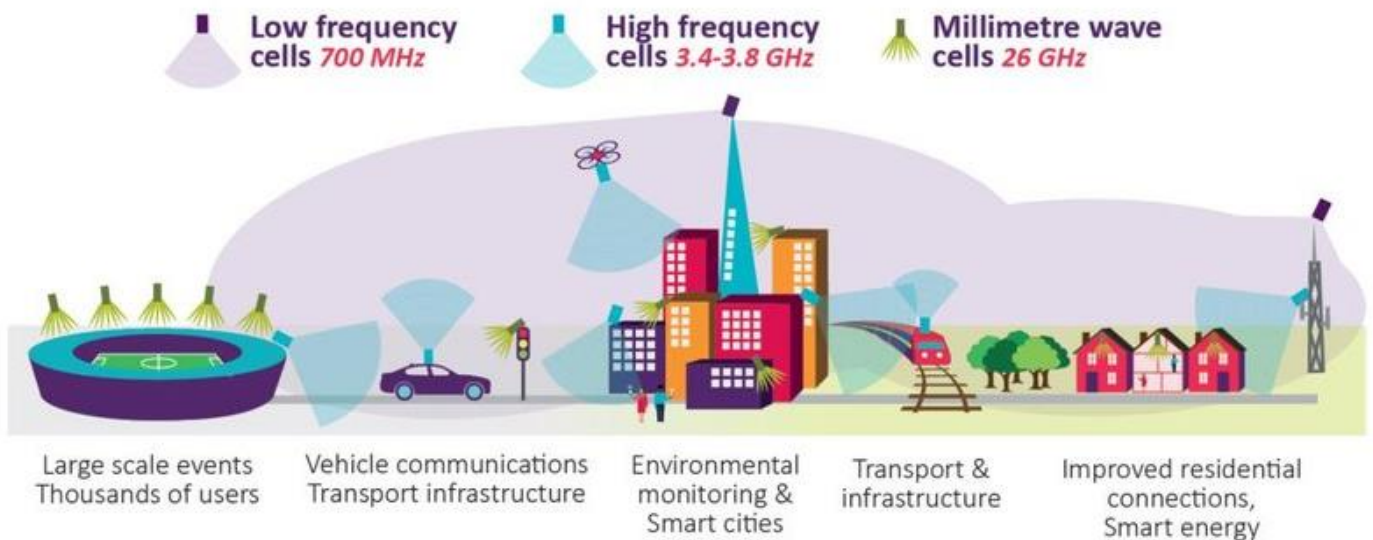
BSS: Base Station Subsystem / Bázisállomás alrendszer (GSM kompatibilitás)

RNS: Radio Network Subsystem / Rádiós hálózati alrendszer

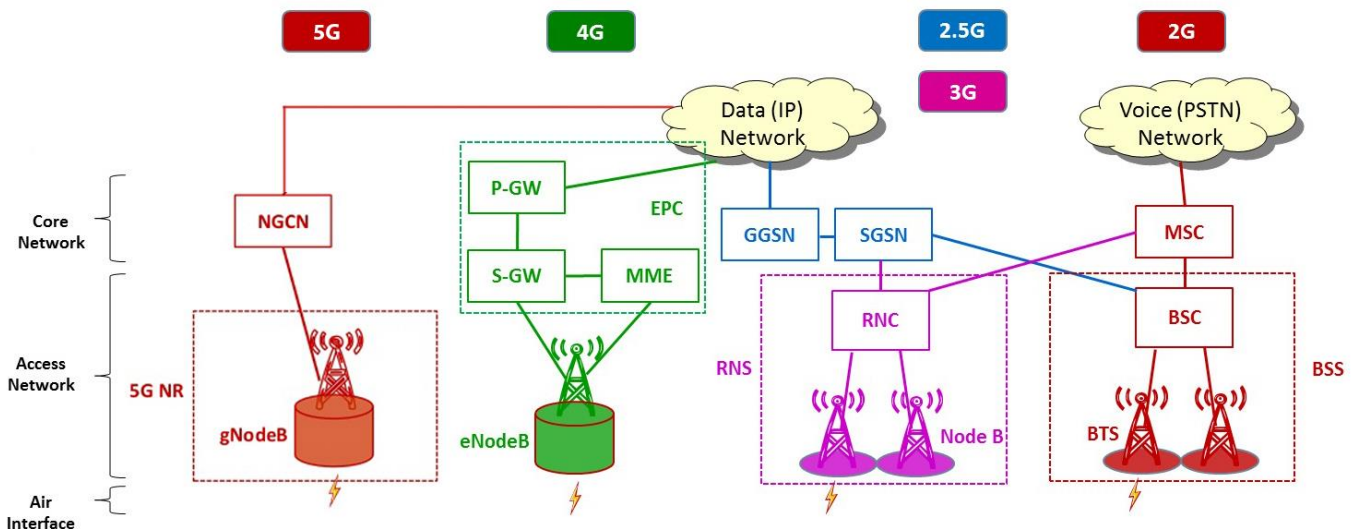
VLR: Visitors Location Register / Látogató azonosító regiszter

HLR: Home Location Register / Honos azonosító regiszter

Az 5G hálózat felhasználás specifikus frekvencia sávjai:



A digitális mobiltelefon hálózatok (2G-5G) egymásra épülése és együttműködése:



Az ábrán található rövidítések:

2G: BTS = Base Transceiver Station; BSC = Base Station Controller; BSS = Base Station Subsystem; MSC = Mobile Switching Centre; PSTN = Public Switched Telephone Network.

2.5G: SGSN = Serving GPRS Support Node; GGSN = Gateway GPRS Support Node.

3G: RNS = Radio Network Subsystem; RNC = Radio Network Controller.

4G: eNodeB = Evolved NodeB; EPC = Evolved Packet Core; MME = Mobility Management Entity; S-GW = Serving Gateway; P-GW = Packet Data Network Gateway.

5G: gNodeB = Next Generation NodeB; NR = New Radio; NGCN = Next Generation Core Network.