

Kommunikációs hálózatok 2

Mobiltelefon-hálózatok

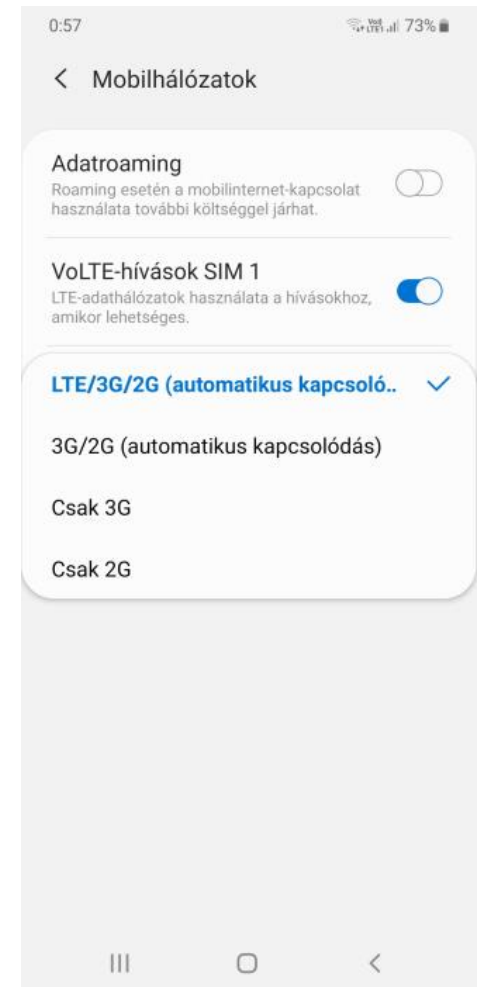
Németh Krisztián
BME TMIT
2020. március 3-10.



Motiváció

- Mit jelentenek ezek a telefonomon ott felül?

- 2G
- G
- E
- 3G
- UMTS
- WCDMA
- H
- H+
- 4G
- LTE
- VoLTE



Mobiltelefon-hálózatok

- Kezdeti mobilhálózatok (0G)
- Analóg cellás hálózatok (1G)
- GSM (2G)
- UMTS (3G)
- LTE (4G)
- 5G

KEZDETI MOBILHÁLÓZATOK

(0G)



0G

- 1G előtti mobil rendszerek
- 1946-tól telepítettek ilyen
- Analóg rendszerek, könnyen lehallgathatóak
- Gyakran autóba építve
- Kezdetlegesek, kevés csatornával, kevés felhasználóval
- Volt kézi kapcsolásos rendszer is



0G

- Érdekességképpen pár ilyen rendszer (időrendben):
 - Mobile Telephone Service (MTS), USA, 1946 – kb. 1990
 - A-Netz, NSZK, 1958 – 1977
 - System 1, UK (Manchester és környéke), 1959
 - Алтай (Altaj), Szovjetúnió, 1963 –
 - Televerket, Norvégia, 1966
 - Autoradiopuhelin, Finnország, 1971 – 2000
 - B-Netz, NSZK, 1972 – 1994
 - Automatizovaný městský radiotelefon (AMR), Csehszlovákia, 1983 – 1999

0G

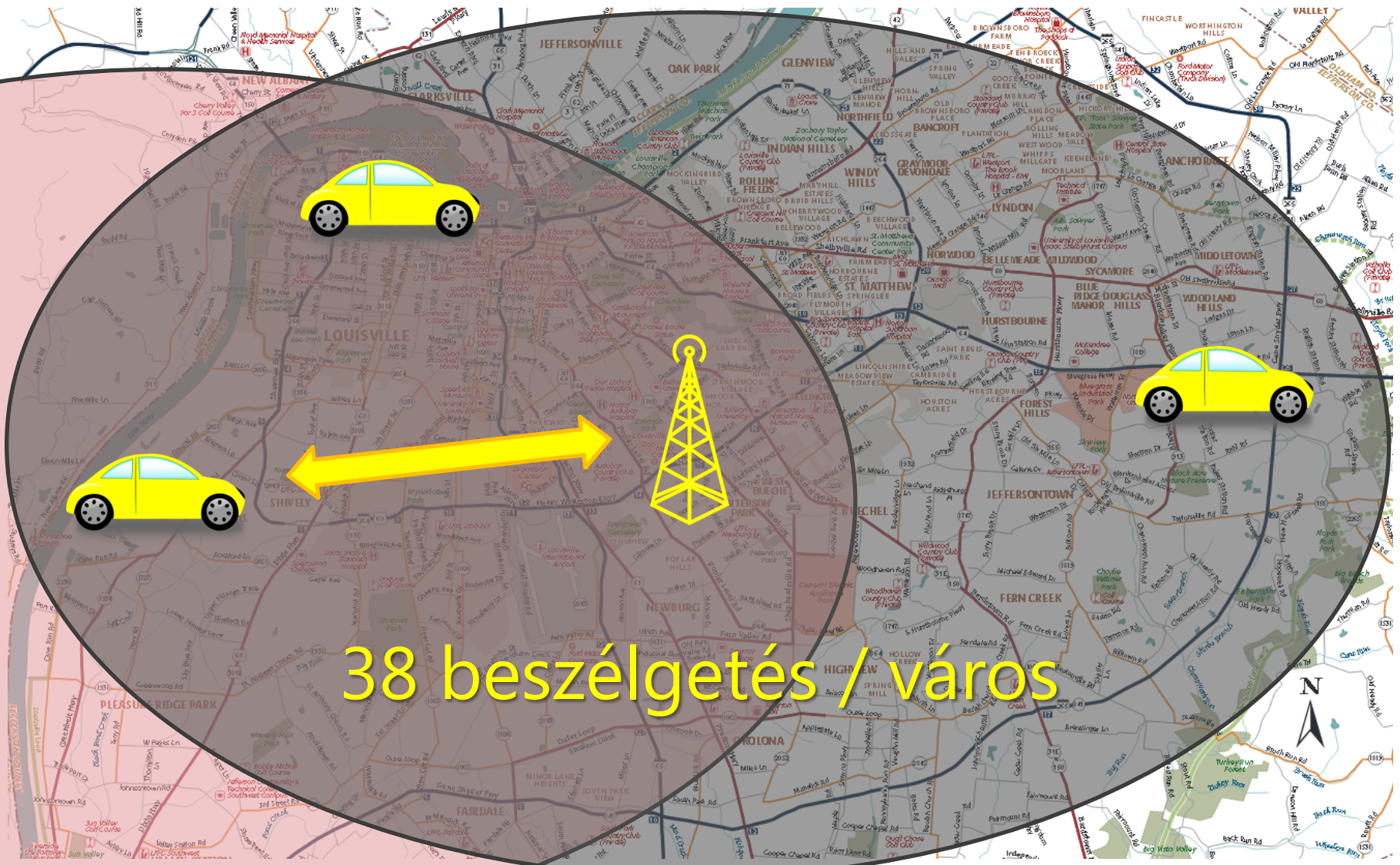
- Kevés felhasználó, nem is mindig nyilvános rendszerek
- Miért?
- Mert kevés a használható frekvenciasáv
 - Pl. NSZK B-Netz: 38 beszédcsatorna / város (!)
- Megoldás: cellás felosztás
 - ez már az 1G rendszerek sajátja



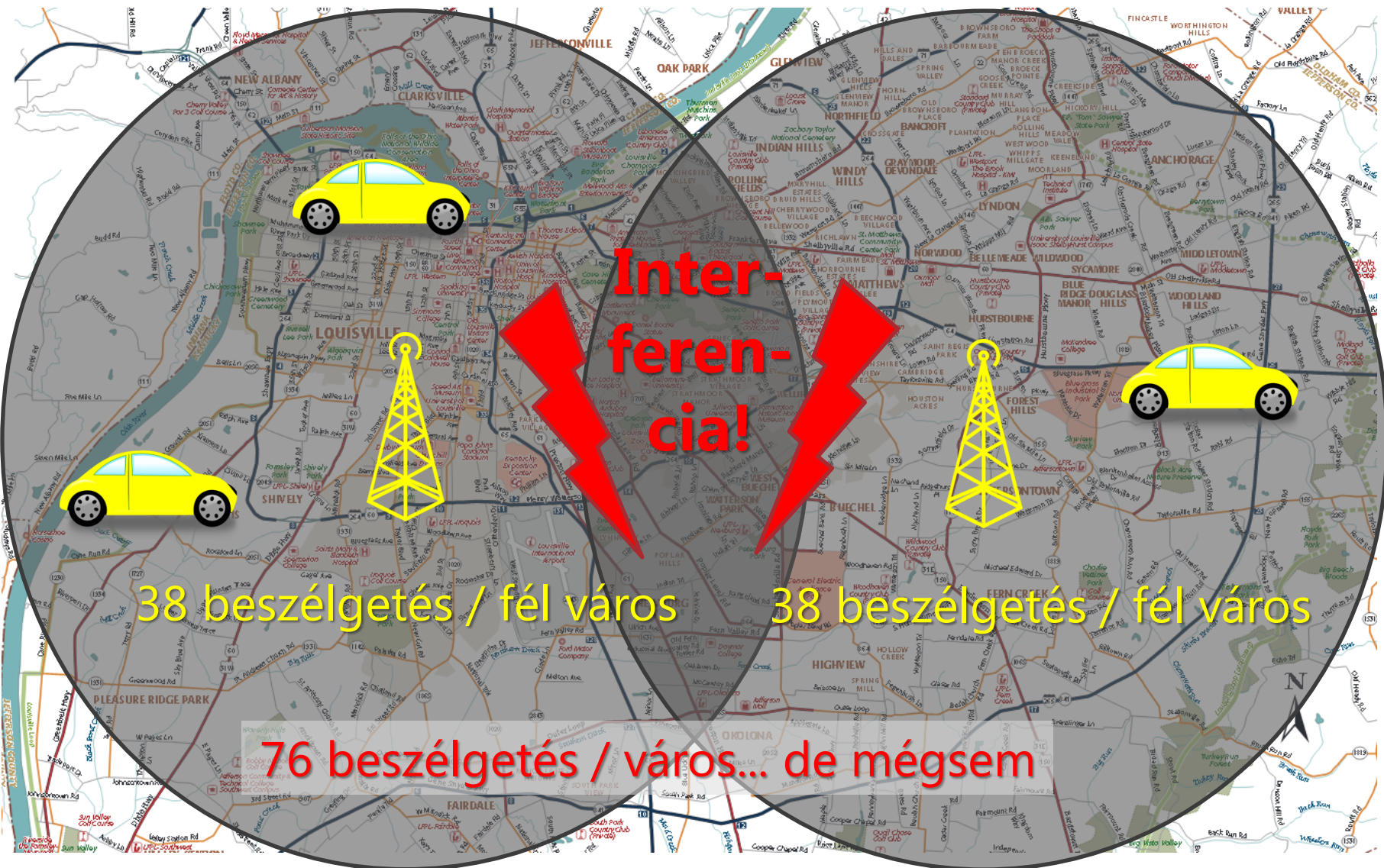
ANALÓG CELLÁS HÁLÓZATOK

1G

Lefedettség egy bázisállomással



Lefedettség két bázisállomással

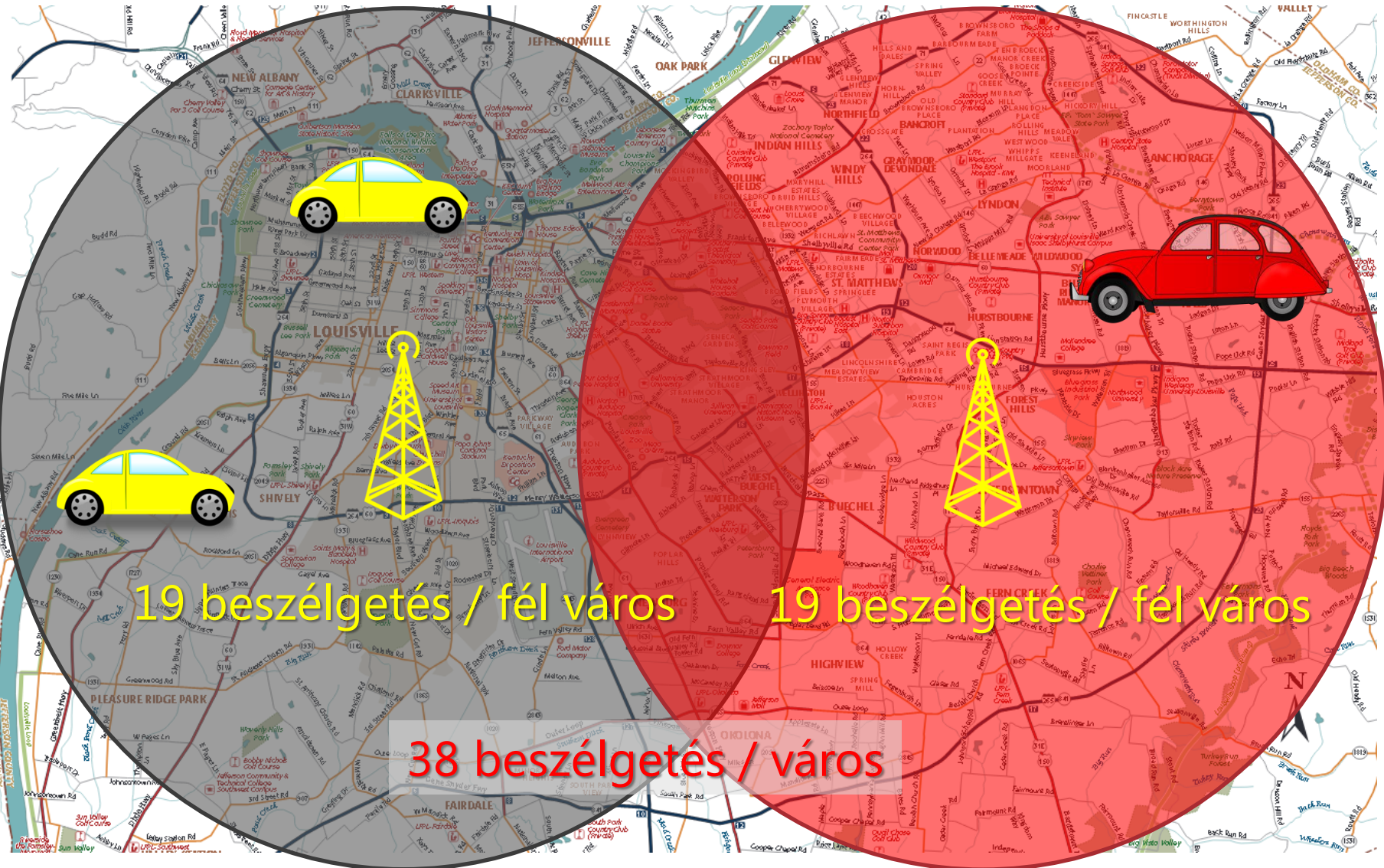


Interferencia

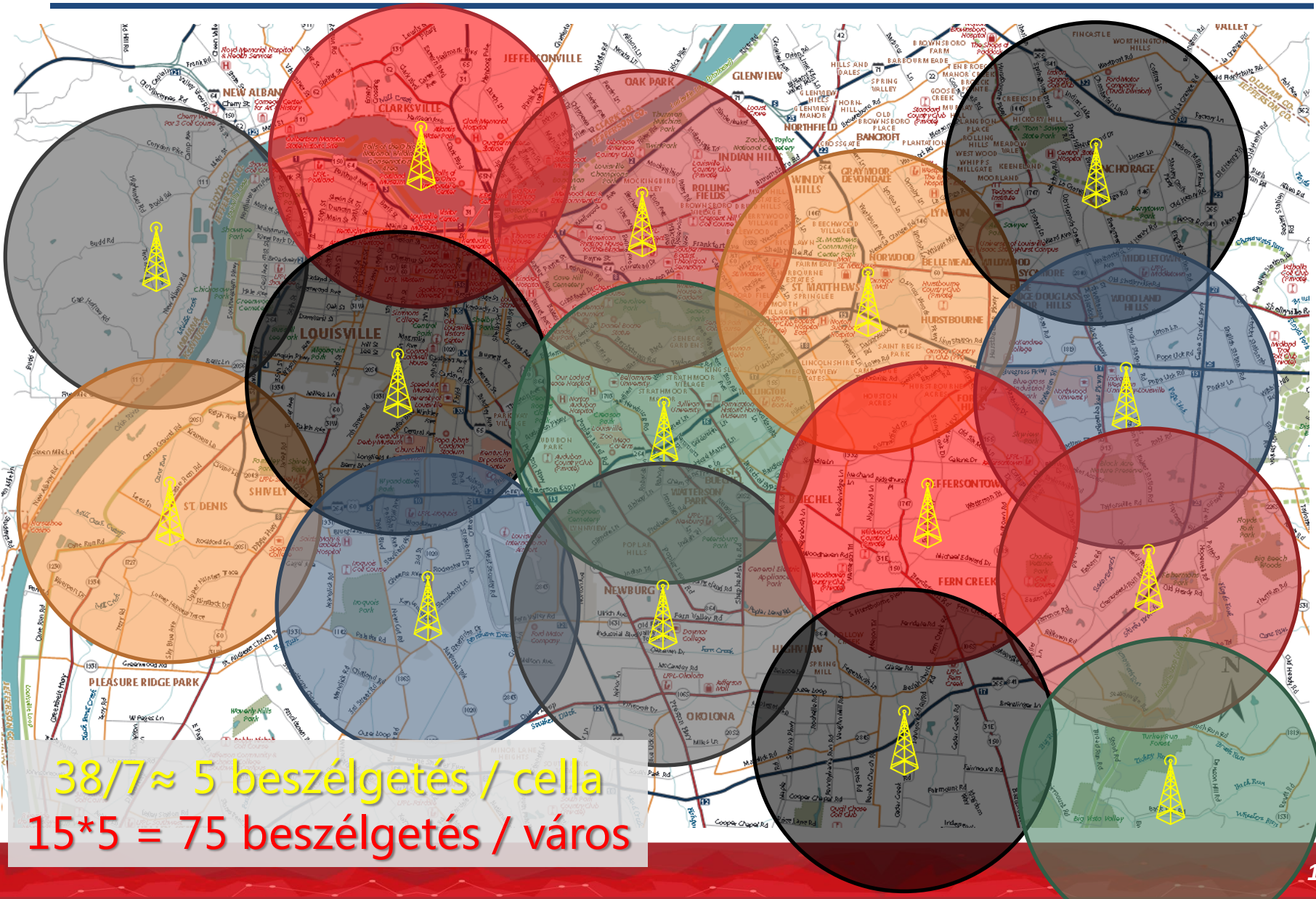


- A hullámok összeadódása
- Rádióhullámok esetében akkor történik, ha több adó jele összeér
 - térben (azaz a lefedettségi területek átfednek) és
 - időben (egyszerre adnak) és
 - frekvenciában (azonos frekvenciában adnak)
- Ez alapvetően káros jelenség, tönkreteszi a rádiókommunikációt az adott helyen/időben/frekvenciában

Lefedettség két bázisállomással



Lefedettség sok bázisállomással



$38/7 \approx 5$ beszélgetés / cella
 $15 \cdot 5 = 75$ beszélgetés / város

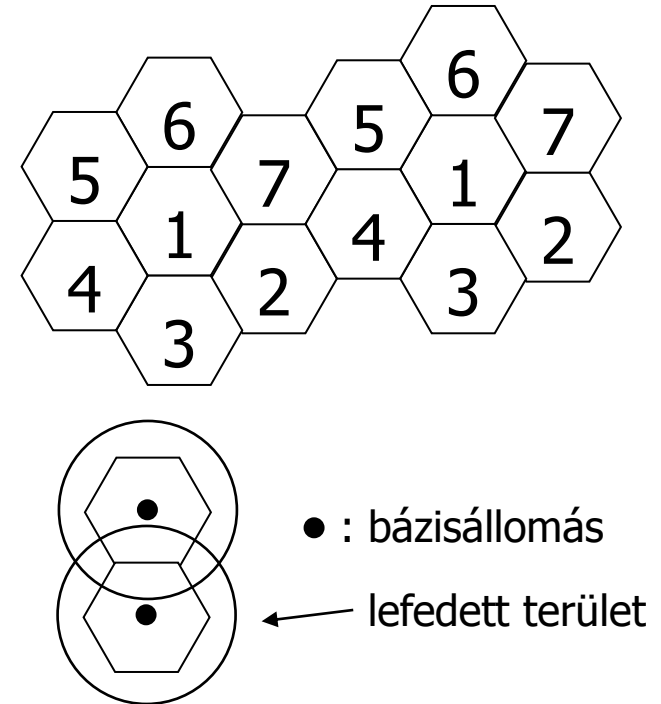
Lefedettség még több bázisállomással



$38/7 \approx 5$ beszélgetés / cella
 $67 \cdot 5 = 355$ beszélgetés / város

A cellás elv

- Cellás lefedés az ábra szerint
- Ez csak az elv, a gyakorlatban a cellák nem pont ilyenek!
 - pl. bázisállomás a cella „sarkában”
 - nem 7, hanem több különböző cella (pl. 10)



Mekkora legyen egy cella?

- Kisebb cellák előnye:
 - kis adóteljesítmény elég
 - kisebb élettani kockázat
 - kisebb fogyasztás
 - többen beszélhetnek egyszerre
- Kisebb cellák hátrányai:
 - sok bázisállomás kell
 - költséges
 - csúnya
- Gyakorlatban: pár 100 m... pár 10 km / cella

1G rendszerek

- 1970-es évek vége, 1980-as évek eleje
- Analóg rendszerek
 - könnyen lehallgatható
 - elég könnyen „feltörhető”
- Cellás elvű, nyilvános hálózatok
- Sok, egymással nem kompatibilis hálózat, pl.:
 - Nordic Mobile Telephone System (NMT): Észak-Európa, Svájc, Hollandia, Kelet-Európa, Oroszország
 - USA: Advanced Mobile Phone Service (AMPS),
 - UK: Total Access Communication System (TACS)
 - Németország: C-Netz (C450)
 - ...



NMT

- Nordic Mobile Telephone System (északi mobil távbeszélő rendszer)
 - Skandináviában 1981-től
 - Hazánkban 1990-től 2003. június 30-ig (Westel 0660)
 - Jellemzően 450 MHz körüli frekvenciasáv
 - Viszonylag nagy, 30-50 km átmérőjű cellák
 - Gyenge beszédátviteli minőség
 - Kevés szolgáltatásfajta
 - Nincs SIM: a készülékhez tartozik a hívószám
 - Drága!

GSM (2G)



2G

- 2G: második generációs mobil távbeszélő rendszerek
 - 1990-es évek elejétől
 - digitális rendszerek
 - titkosított kommunikáció
 - hatékonyabb rádióspektrum-kihasználás
 - többen beszélhetnek egyszerre
 - újabb szolgáltatások
 - SMS, adatátvitel, ...
- Legelterjedtebb a GSM
- Vannak/voltak más 2G rendszerek is, pl.:
 - USA Digital Advanced Mobile Phone System (D-AMPS)
 - USA: Interim Standard 95 (IS-95), avagy cdmaOne
 - Japán: Personal Digital Cellular (PDC)
 - ...

2G

- A készülékek mérete, súlya gyorsan csökkent
 - Aktatáska méret helyett „fél téglá”
- Az árak is gyorsan csökkentek
 - technikai fejlődés
 - több szolgáltató, verseny
- 2000 körül kb. 5 év alatt „mindenkinek” lett mobilja
 - hatalmas üzleti siker
 - átformálta az életünket
 - az akkor még buta telefon



www.mobilgyujtemeny.hu

- Eredetileg: „Groupe Spéciale Mobile”, később: „Global System for Mobile communications”
- Európai szabvány (!): az ETSI készítette
 - European Telecommunications Standards Institute
- Új koncepciók a GSM-ben
 - közös, egységes rendszer Európában
 - hívó fél fizet csak
 - roaming
 - SIM kártya (előfizető adatai készülékfüggetlenek)
 - SMS
 - titkosított beszédátvitel
- Mai napig még működik a világ legtöbb országában
- Folyamatosan fejlődött az évek során



Főbb GSM szolgáltatások



- Beszédátvitel
 - kodek sebessége 13 kb/s (később: 5,6 kb/s is)
 - kompromisszum: viszonylag gyenge hangminőség, jobb frekvenciakihasználtság
- Hívószámkijelzés
- Hívásátirányítás
- Hangposta
- Hívásvárakoztatás
- SMS (Short Message Service, rövid szöveges üzenet szolgáltatás)
 - 160 karakter max.
- Adatátvitel
 - kezdetben 9,6 kb/s, később 14,4 kb/s, majd ez folyamatosan nőtt....
- MMS (Multimedia Messaging Service, multimédia üzenetküldő szolg.)
 - multimédia üzenet: kép, írott szöveg, hang együtt
 - 2002-től elérhető szolgáltatás, néha ma is használják

GSM



- Digitális átvitel:
 - beszédkódoló (A/D átalakító) a telefonkészülékben
 - titkosított
 - adatátvitel, beszédátvitel egyaránt lehetséges
- Cella átmérője: 0,5 – 35 km
 - tervezői döntés az adott tartományon belül
 - függ
 - az alkalmazott frekvenciától
 - a tervezett forgalomtól (hívások számától)
 - terjedési terepviszonyoktól

GSM teljesítményszabályozás



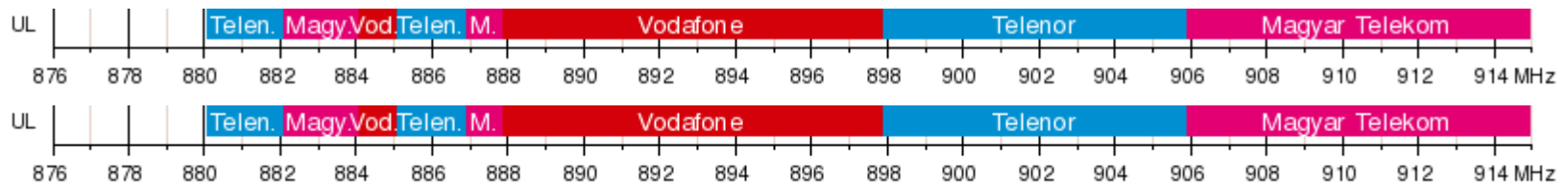
- Sugárzási teljesítmény: max. 2 W és adaptív: a minimális szükségessel ad a végberendezés
 - telep kímélése
 - élettani kockázat minimalizálása
 - ne zavarjon más cellákat
- Másodpercenként kétszer változtatja a telefon a sugárzási teljesítményt

GSM 900

A konkrét frekvenciatartományt (890-915, 935-960) nem kell tudni, de hogy kb. 900 MHz, és a sávszélességeket igen.



- GSM 900
 - mobil adó: 890-915 MHz, bázisállomás 935-960 MHz
 - e tartományban kisebb frekvencia kisebb csillapítást szenved, így kisebb teljesítményt igényel, ezért a mobil adóé az alsó sáv
 - max. 35 km cellaátmérő: a 900 MHz körüli hullámok valamelyest követik a földfelszínt
 - *emiat országos lefedésre alkalmas a technológia*
 - Magyarországon:



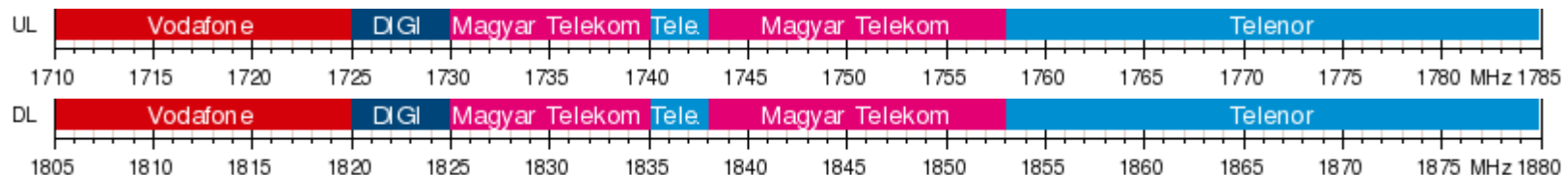
GSM 1800

A konkrét frekvenciatartományt nem kell tudni, de hogy kb. 1800 MHz, és a sávszélességet (75 MHz) igen.



- GSM 1800
 - mobil adó: 1710-1785 MHz, bázisállomás: 1805-1880 MHz
 - plusz háromszoros kapacitás!
 - de: rosszabb a hullámterjedése
 - egyenesen terjed
 - gyorsan csillapodik
 - *emiat országos lefedésre nem, csak nagy forgalmú kis területek ellátására alkalmas*

- Magyarországon:



- kétnormás készülékek, automatikusan váltanak frekvenciatartományt
 - később három- (900/1800/1900) és négynormás (850/900/1800/1900) készülékek, ill. a 3G, majd 4G képesek

GSM

A konkrét frekvenciatartományt (890-915, 935-960) nem kell tudni, de hogy kb. 900 MHz, és a sáv szélességeket igen.



- Rádiós közeghozzáférés: FDMA+TDMA (Frequency/Time Division Multiple Access, frekvencia-/időosztásos többszörös hozzáférés): ld. köv. dia
- GSM 900 (Primary-GSM, P-GSM)
 - mobil adó: 890-915 MHz, bázisállomás 935-960 MHz
 - 25 MHz-es sáv, egy vivő 200 kHz: 124 vivő (FDMA)
 - ezen az összes helyi szolgáltató osztozik
 - hazánkban kb. 40 vivő (frekvenciasáv)/szolgáltató e sávban
 - vivőnként 8 db időrés (TDMA)
 - $40 \cdot 8 / 10 \approx 32$ csatorna / cella
 - 10: ennyi féle frekvenciakiosztású cella van (a bevezető fóliákon (méhkaptáros ábra) mutatott 7-nél realisabb) -- sőt több is...

GSM900 közeghozzáférés



	Időres 1	Időres 2	Időres 3	Időres 4	Időres 5	Időres 6	Időres 7	Időres 8
Vivő 1								
Vivő 2								
...								
Vivő 124								

- Egy beszéd- vagy adatátviteli csatorna.
- A konkrét csatorna kiosztását a hálózat (BSC, ld. nemsokára) végzi.
 - Beérkező hívás esetén egy közös jelzéscsatornán értesíti erről a végberendezést
 - Kimenő hívás esetén egy másik közös jelzéscsatornán kezdeményez a mobil

GSM



- GSM900
 - Kb. 32 egyidejű beszélgetés/cella: elég kevés!
 - annyira nem is kevés: sok-sok emberből beszélgetnek egyszerre ennyien (ld. később, forgalomelmélet)
 - van 3 szolgáltató, egy helyen mindháromnak van cellája
 - a cellák egymással átfednek, így egy nagy, de kis helyen lévő forgalom több cella közt oszolhat meg
 - Half Rate kódolás: kétszer annyi csatorna (de rosszabb minőség, így ezt nem minden esetben használják)
 - ez így együtt már jobban hangzik, de még mindig kevés. Ld. GSM1800
 - 75 MHz-es sáv (plusz háromszoros kapacitás!)
 - max. 35 km cellaátmérő: a 900 MHz körüli hullámok valamelyest követik a földfelszínt
 - emiatt országos lefedésre alkalmas a technológia

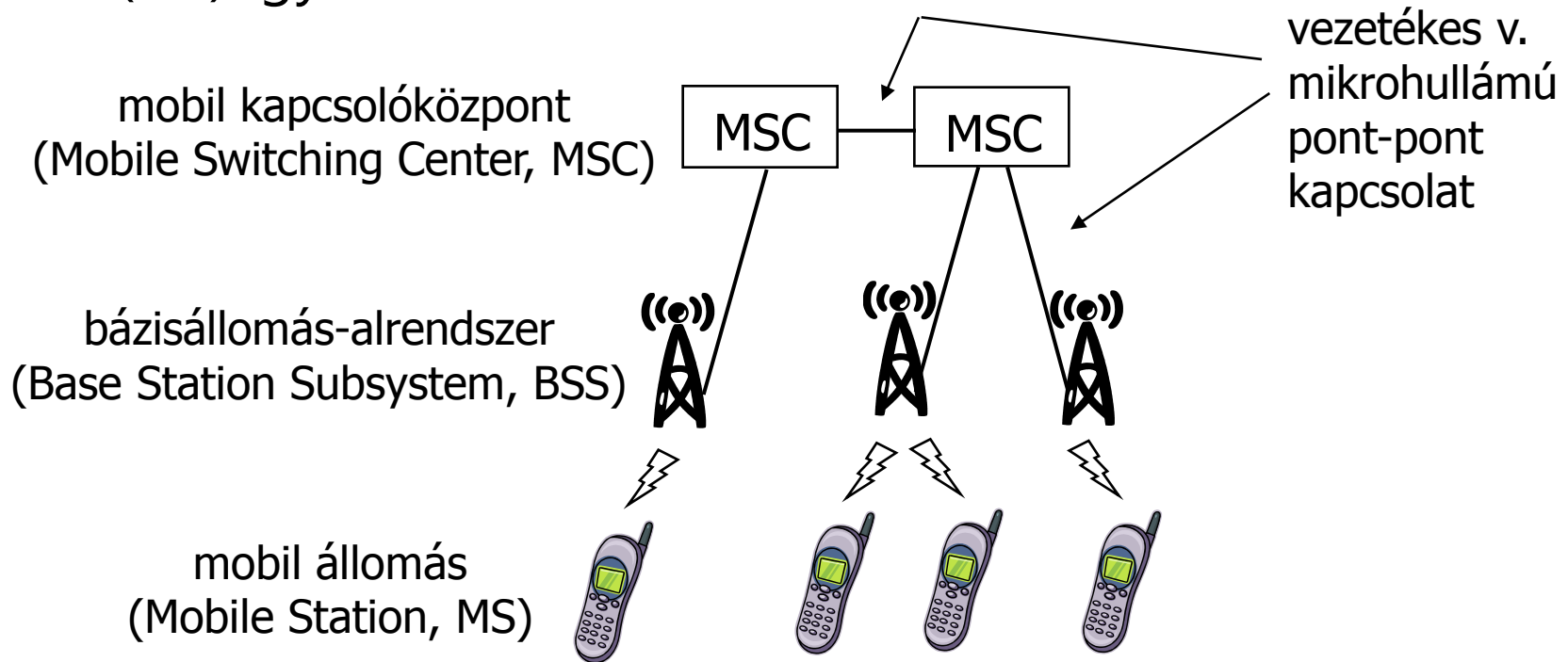
GSM átadás



- GSM: valós áramkörkapcsolás
- Ha a mobil végberendezés átmegy egy másik cellába: átadás (handover v. handoff) történik
 - eközben nem szakad meg a kapcsolat
 - ez elvileg történhet:
 - a mobil végberendezés irányításával: méri, mikor erősebb egy másik cella jele
 - a hálózat irányításával: az dönt a jelerősség és esetleg más információk (pl. cella terheltsége) alapján
 - a hálózat irányításával, a mobil készülék segítségével: a hálózat megkéri a végberendezést, hogy küldjön jelerősségi információt, de a döntést a hálózat hozza – *ez van a GSM-ben*
 - így pl. egy leterhelt cellába csak később lépteti be a hálózat az oda közeledő végberendezést

GSM hálózatok felépítése

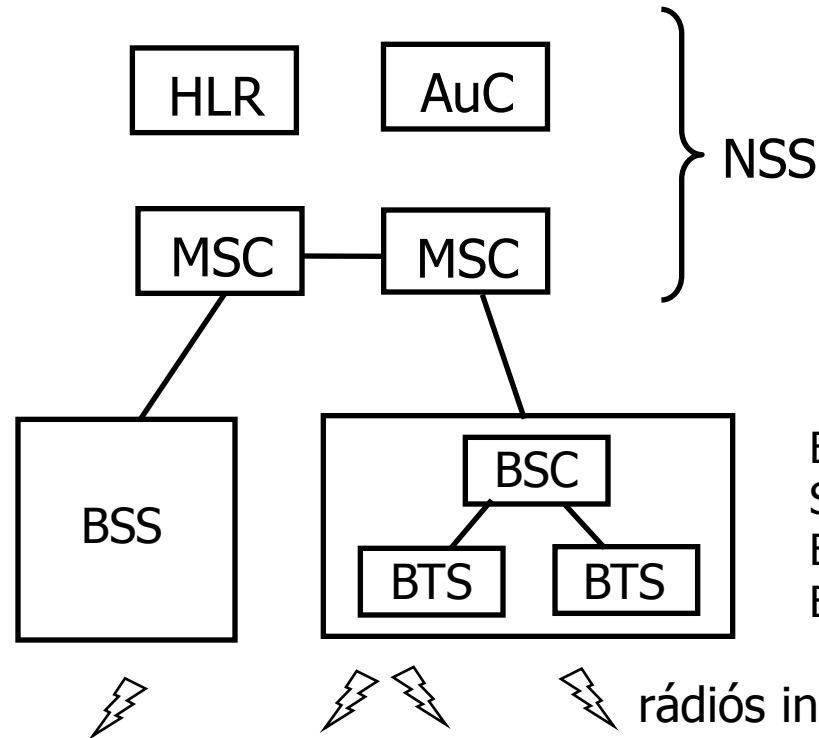
- (Túl)egyszerűsített ábra:



GSM hálózatok felépítése



- Részletesebben:



NSS: hálózati (kapcsoló) alrendszer (Network (Switching) Subsystem)
MSC: mobil kapcsolóközpont (Mobile Switching Center)
HLR: honos helyregiszter (Home Location Register)
AuC: hitelesítő központ (Authentication Center)

BSS: bázisállomás-alrendszer (Base Station Subsystem)
BSC: bázisállomás-vezérlő (Base Station Controller)
BTS: bázisállomás (Base Transceiver Station)

rádiós interfész

mobil berendezés
(Mobile Equipment, ME)
előfizetői azonosító modul
(Subscr. Identity Module, SIM)

Bázisállomás-alrendszer

- Bázisállomás (BTS)
 - egy vagy több elemi adó/vevő
(elementary transmitter/receiver)
- Bázisállomás-vezérlő (BSC)
 - egy vagy több bázisállomást vezérel
 - kapcsolás (beszédcsatornák összekötése)
 - rádiócsatorna-hozzárendelés
 - hívásátadás-vezérlés



Hálózati alrendszer

- Mobil kapcsolóközpont (MSC)
 - egy „hagyományos” telefonközpont
 - mobil-specifikus bővítésekkel
 - autentikáció
 - helyzetnyilvántartás
 - hívásátadás BSC-k között
 - barangolás
 - stb.
 - MSC tartalmazza a látogatói helyregisztert (VLR)
 - A HLR információinak egy részét tárolja ideiglenesen (ami a hívásfelépítéshez szükséges) az ott tartózkodó mobil állomásokról
- Honos helyregiszter (HLR)
 - előfizetőre vonatkozó adatok, szolgáltatási jogosultságok, aktuális tartózkodási hely
 - egy HLR hálózatonként
- AuC: hitelesítő központ (Authentication Center)



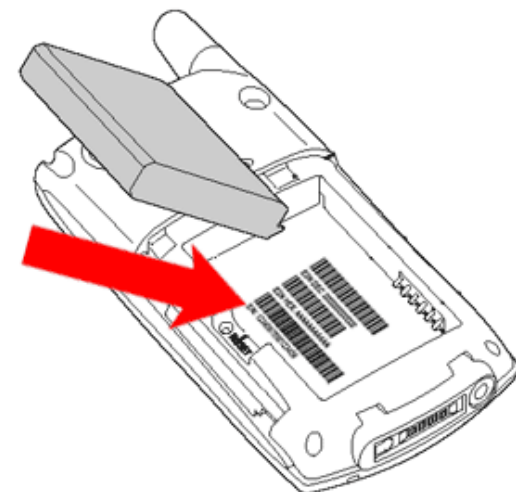
Azonosítók GSM-ben



- **MSISDN:** Mobile Station ISDN Number, mobil állomás ISDN szám
 - a jól ismert mobil telefonszám
 - egyedi a világon
 - MSISDN = országkód (Mo.: 36) + hálózatkijelölő szám (Mo:20/30/70) + előfizetői szám
- **IMSI:** International Mobile Subscriber Identity, nemzetközi mobil előfizető azonosító
 - a GSM hálózatokban elsősorban ez azonosítja az előfizetőt: az adatbázisok ezzel vannak indexelve
 - a SIM kártyához van rendelve
 - egyedi a világon
 - IMSI = mobil országkód (Mo: 216) + mobil hálózati kód (Mo.:01/30/70) + 10 jegyű mobil előfizető azonosító szám
 - szolgáltatóváltásnál az MSISDN maradhat, de a SIM kártyát és ezzel együtt az IMSI-t cserélni kell

Azonosítók GSM-ben

- **IMEI:** International Mobile Equipment Identity, nemzetközi mobilkészülék-azonosító
 - a végberendezést azonosítja
 - egyedi a világon
 - IMEI = <készülékazonosító> (8 jegyű) + <gyári szám> (6 jegyű) + <ellenőrző számjegy> (1 jegyű) (+ <szoftver verzió>)
 - Lekérdezése: *#06#
 - minden GSM telefonon működik ez
 - rá van nyomtatva az akkumulátor alá is
 - ha a kettő nem azonos (vagy az utóbbi ki van vakarva): a telefon valószínű lopott!
 - kivétel: a *#06# az IMEI végére néha odatesz egy plusz verziószámot, ez nem gond



Azonosítók GSM-ben



- **MSRN**: Mobile Station Roaming Number, barangoló szám
 - egy VLR-hez tartozó helyi címtartományba tartozó telefonszám, amit az arra járó GSM készülék ideiglenesen használ
 - a felhasználó számára transzparens, nem látszik
 - ez teszi lehetővé, hogy a szám utaljon a földrajzi helyre: ebből a számból már tudni, hogy merre kell keresni az adott készüléket, ha felhívja valaki

Végberendezés helyének nyilvántartása

- Cella szinten?
 - túl gyakori adatbázis frissítés, nagy hálózati forgalom!
- Országos szinten?
 - túl nagy területen kéne keresni pl.beérkező híváskor
 - szintén nagy hálózati forgalom
- Kompromisszum: „Location Area”
 - néhány (tipikusan 20-30) cella együttese
 - közöttük való cellaváltáskor nincs helyzetfrissítés (Location update)
 - Location Area váltáskor helyzetfrissítés
 - bejövő híváskor/SMS-kor broadcast keresési üzenet (paging) a Location Area-ban
 - Alapból ennél pontosabban nem tárolja a hálózat, hogy hol vagyunk!



GSM szolgáltatások



- Beszédátvitel
 - kodek sebessége 13 kb/s (később: 5,6 kb/s is)
 - kompromisszum: viszonylag gyenge hangminőség, jobb frekvenciakihasználtság
- SMS (Short Message Service, rövid szöveges üzenet szolgáltatás)
 - 160 karakter max.
- Adatátvitel
 - kezdetben 9,6 kb/s, később 14,4 kb/s, majd ez folyamatosan nőtt....
- MMS (Multimedia Messaging Service, multimédia üzenetküldő szolg.)
 - multimédia üzenet: kép, írott szöveg, hang együtt
 - 2002-től elérhető szolgáltatás, néha ma is használják
- (Volt valaha: WAP: Wireless Application Protocol,
 - lebutított WWW)

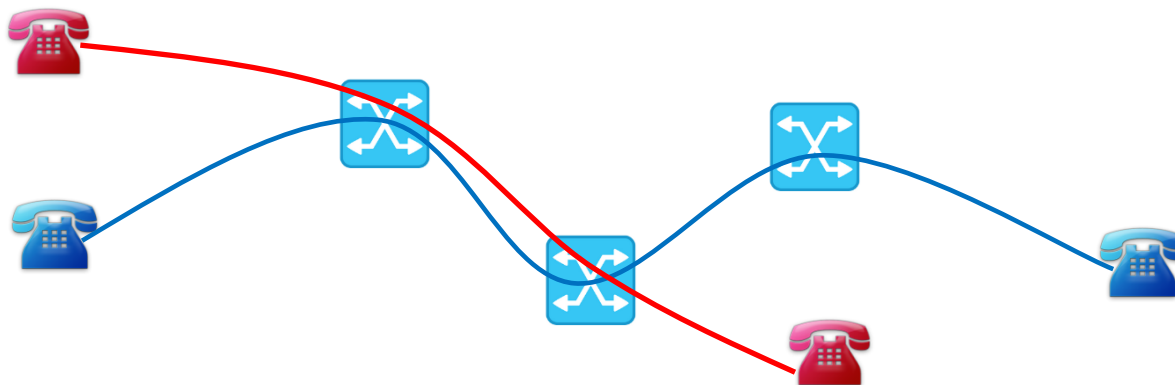
GSM/GPRS: „2,5 G”

- GPRS (General Packet Radio Service, általános csomag alapú rádiós szolgáltatás)
 - csomagkapcsolt adatátvitel, a GSM kiegészítése
 - előny:
 - jobb kihasználtság
 - fizetés kilobájt alapon, nem perc szerint
 - komoly hálózatfejlesztést igényelt (ld. 3-mal későbbi dia)
 - adatsebesség kb. 60-80 kb/s



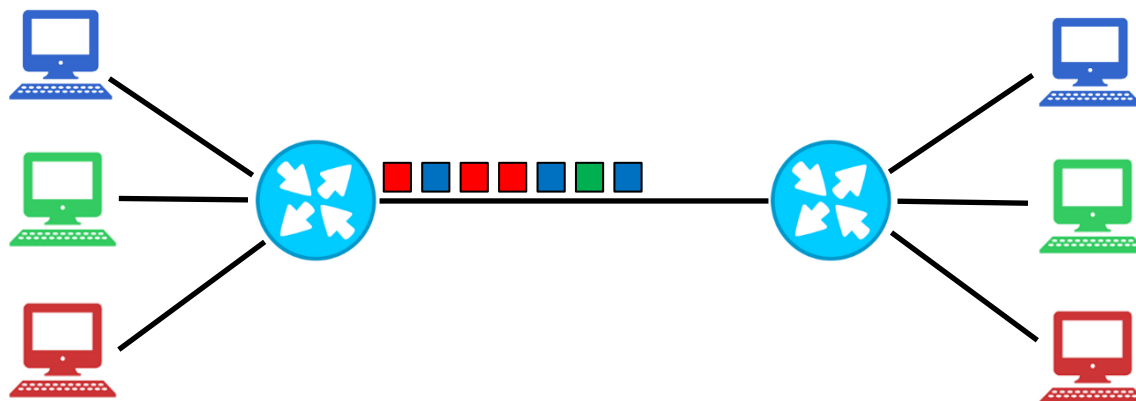
Áramkörkapcsolás, csomagkapcsolás

- Áramkörkapcsolás („vonalkapcsolás”, circuit switching)
 - klasszikus telefonhálózatokban van ilyen
 - végponttól végpontig *garantált minőségű* csatorna
 - *hívásfelépítés* a kommunikáció előtt
 - *lebontás* a kommunikáció után
 - a csatornát csak a hívó és a hívott használhatja
 - ha épp nem beszélnek, üres a csatorna
 - lehet fizikailag egy áramkör, de lehet általánosabb értelemben egy csatorna
 - pl. adott időrés, adott frekvencia egy nyálábolt átviteli rendszerben

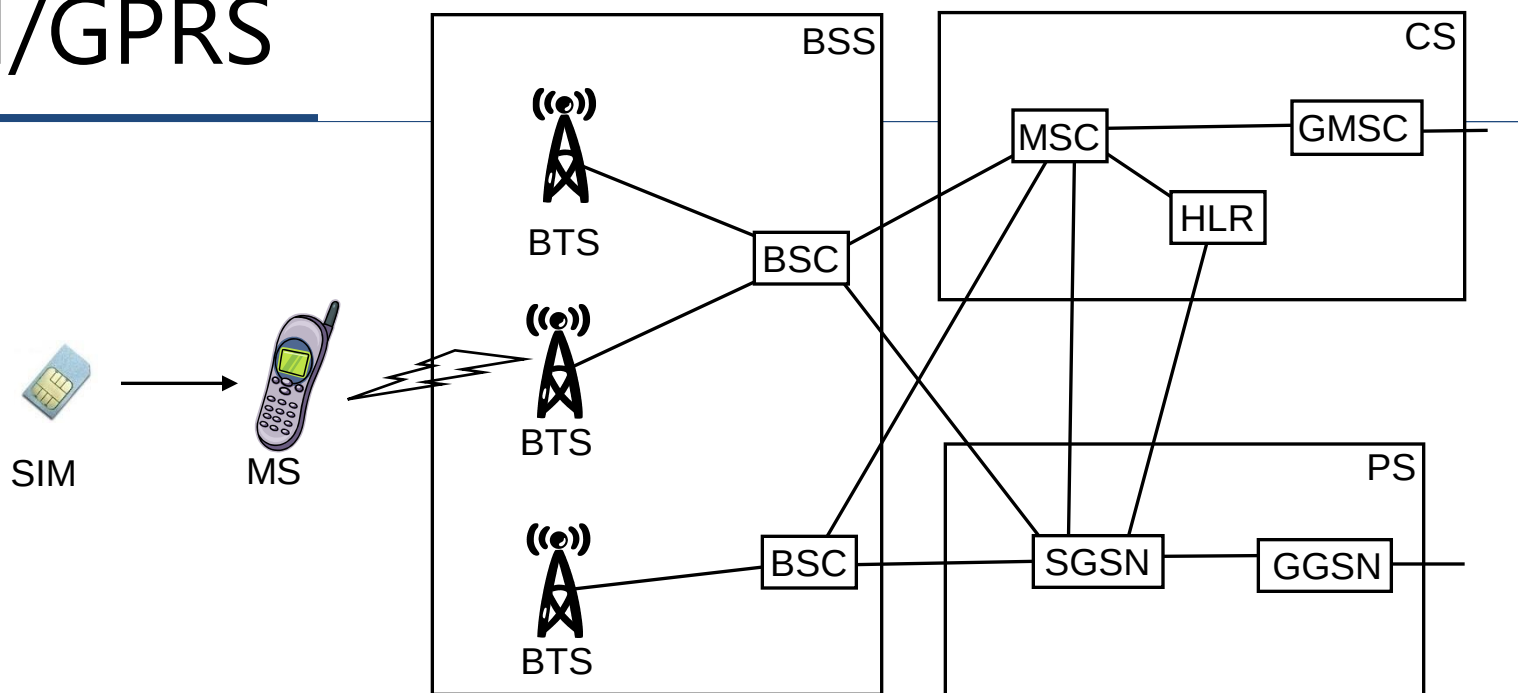


Áramkörkapcsolás, csomagkapcsolás

- Csomagkapcsolás (packet switching)
 - a számítógép-hálózatok újdonsága volt
 - az átvitt információt kis csomagokra bontva továbbítjuk
 - nem kell hívásfelépítés, bontás
 - előny: **statisztikus multiplexelés**
 - ha épp nincs kommunikáció, más is használhatja a csatornát
 - így összességében nagyobb forgalom bonyolítható le ugyanakkora csatornán
 - = olcsóbb!
 - hátrány: minőség nem garantált
 - a szolgáltatásminőség (Quality of Service, QoS) biztosítása külön feladat



GSM/GPRS



SIM: Subscriber Identity Module, előfizetői azonosító modul

MS: Mobile Station, mobil állomás

BTS: Base Transceiver Station, bázisállomás

BSC: Base Station Controller, bázisállomás-vezérlő

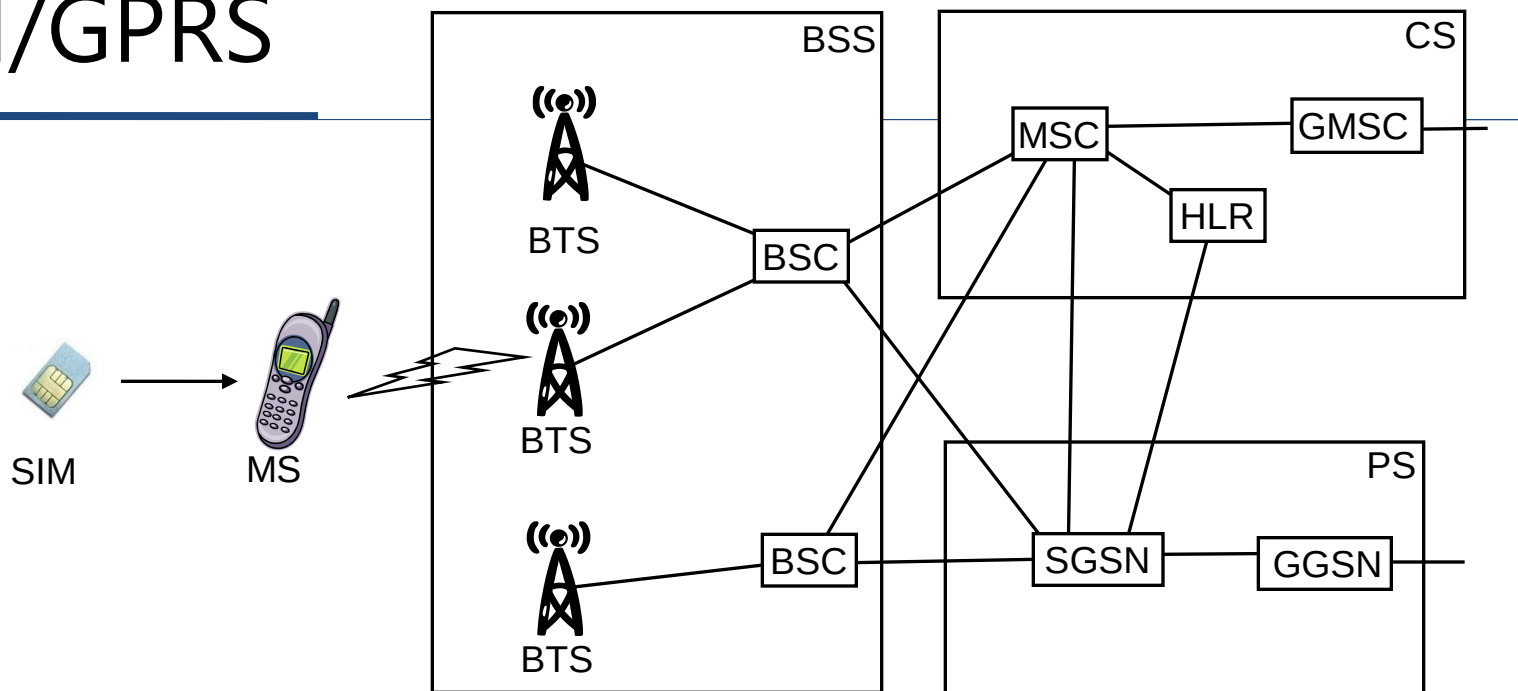
BSS: Base Station Subsystem, bázisállomás-alrendszer

MSC: Mobile Switching Center, mobil kapcsolóközpont

HLR: Home Location Register, honos helyregiszter

GMSC: Gateway MSC: MSC és egyben átjáró más hálózatok felé (pl. vezetékes tel.)

GSM/GPRS



CS: Circuit Switched, áramkörkapcsolt alrendszer

SGSN: Serving GPRS Support Node, csomagkapcsolást végez (útválasztó)

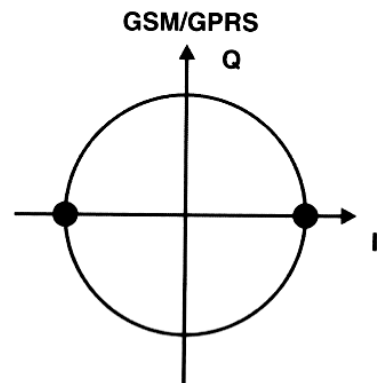
GGSN: Gateway GPRS Support Node, csomagkapcsolást végez és egyben átjáró más csomagkapcsolt hálózatok felé (pl. Internet)

PS: Packet Switched, csomagkapcsolt alrendszer

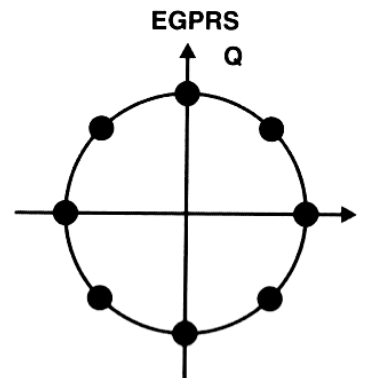
GSM/EDGE: „2,75 G”



- *EDGE* (Enhanced Data Rate for Global/GSM Evolution, kb. továbbfejlesztett adatsebesség a globális/GSM fejlődésért – no comment...)
 - javított modulációs eljárás
 - eredetileg 1 bit/szimbólum volt (Gaussian minimum shift keying, GMSK)
 - EDGE: 8PSK, 3 bit/szimbólum $\Rightarrow$ háromszoros adatátviteli sebesség
 - ez csak jobb jel/zaj viszony esetén működik (kevésbé zavartűrő)
 - adatsebesség kb. 150-180 kb/s
 - „E” jel a telefonon a felső sorban
 - néha még ma is találkozunk vele (és nem örülünk neki)



GMSK = 1 bit per symbol



8PSK = 3 bits per symbol