

# Kommunikációs hálózatok 2 jegyzet

Lant Gábor

2019. április 23.

Source: <https://github.com/lantgabor/KH2-jegyzet>

## Tartalomjegyzék

<b>1. Előszó</b>	<b>2</b>
<b>2. Beszédátvitel, telefonrendszerek</b>	<b>3</b>
<b>3. Számozás</b>	<b>3</b>
<b>4. Analóg beszédátvitel</b>	<b>4</b>
<b>5. PCM (Pulse Code Modulation, Impulzuskód moduláció)</b>	<b>4</b>
<b>6. Beszédkódolók (Kodek, Codec)</b>	<b>5</b>
6.1. Kodek jellemzők . . . . .	5
6.2. Kódoló típusok . . . . .	5
<b>7. Mobiltelefon-hálózatok</b>	<b>6</b>
7.1. Cellás elv: . . . . .	6
7.2. 1G rendszerek: . . . . .	6
7.3. 2G (GSM): . . . . .	6
<b>8. GSM</b>	<b>7</b>
8.1. GSM 900 (Primary-GSM, P-GSM) . . . . .	7
8.2. GSM 1800 . . . . .	7
<b>9. GSM hálózatok felépítése</b>	<b>8</b>
9.1. Azonosítók a GSM-ben . . . . .	8
9.2. Végberendezés helyének nyilvántartása . . . . .	9
9.3. GSM szolgáltatások . . . . .	9
<b>10. GSM/GPRS: „2,5 G”</b>	<b>10</b>
10.1. Áramkörkapcsolás („vonalkapcsolás”, circuit switching) . . . . .	10
10.2. Csomagkapcsolás (packet switching) . . . . .	10
10.3. EDGE: „2,75 G” (Enhanced Data Rate for Global/GSM Evolution) . . . . .	10
<b>11. Mobiltelefon-hálózatok: UMTS</b>	<b>10</b>
11.1. UMTS szolgáltatások . . . . .	11
11.2. Duplexitás kezelés . . . . .	11
11.3. UMTS kódosztás . . . . .	12
11.3.1. Csatornázási kód . . . . .	12
11.3.2. Kódosztás . . . . .	12
11.3.3. OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) . . . . .	12
11.3.4. Keverő kódolás . . . . .	13
11.3.5. Összefoglalás . . . . .	13
11.4. UMTS teljesítményszabályozás . . . . .	14
11.4.1. UMTS cellalélegzés . . . . .	14
<b>12. HSPA (High-Speed Packet Access, nagy sebességű csomagkapcsolt hozzáférés)</b>	<b>14</b>

<b>13.4G/LTE: Long Term Evolution</b>	<b>15</b>
13.0.1. LTE világszerte . . . . .	15
13.0.2. LTE követelmények . . . . .	15
13.1. Tulajdonságok . . . . .	15
13.1.1. OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access . . . . .	16
13.1.2. MIMO (Multiple In, Multiple Out) . . . . .	16
13.1.3. Cellák . . . . .	16
13.2. LTE technikák . . . . .	16
13.3. LTE architektúra . . . . .	17
13.3.1. Vezérlés és felhasználói adat . . . . .	18
13.4. LTE handoverek . . . . .	18
<b>14.VoLTE (Voice over LTE)</b>	<b>18</b>
14.1. Használati feltételei . . . . .	19
14.2. VoLTE architektúra . . . . .	19
14.2.1. LTE hordozók . . . . .	19
14.2.2. kapcsolódás a hálózathoz . . . . .	20
14.3. VoLTE + 2G/3G? . . . . .	21
14.4. VoLTE összefoglaló . . . . .	21
<b>15.VoWiFi – Voice over WiFi</b>	<b>22</b>
15.1. VoWiFi – architektúra („untrusted”) . . . . .	22
<b>16.4G → 5G (úton az 5G felé...)</b>	<b>23</b>
16.1. 5G alkalmazások . . . . .	23
16.2. CUPS (úton az 5G felé...) . . . . .	24
16.3. Core Network / Gerinchálózat . . . . .	24
16.4. 5G helyzetkép . . . . .	24
<b>17.Rövidítések</b>	<b>25</b>

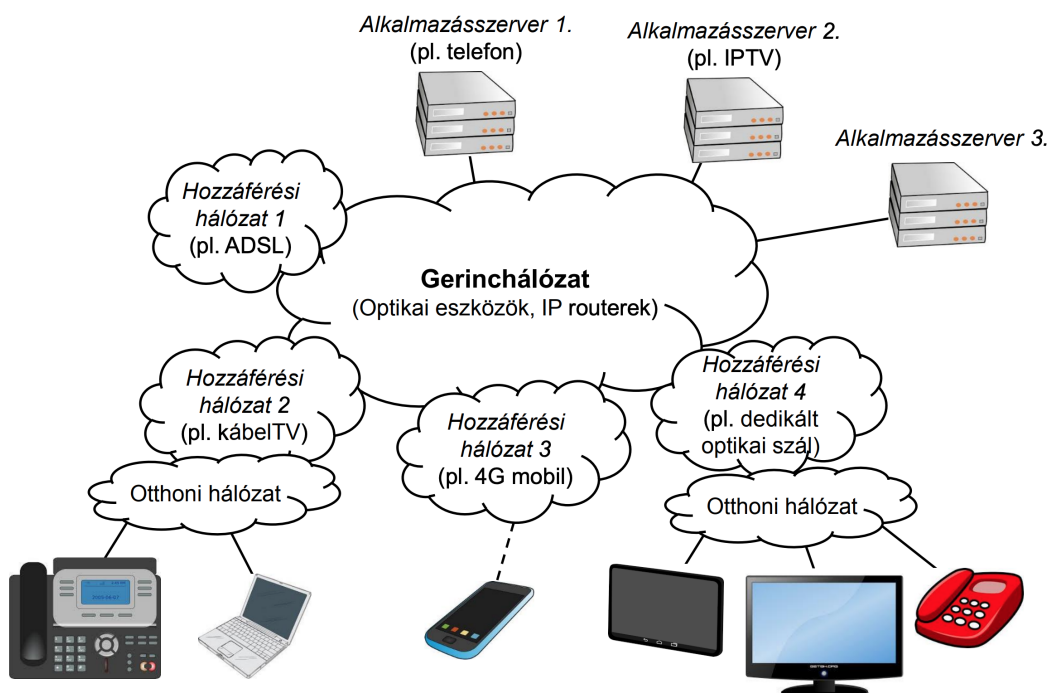
## 1. Előszó

Ez a **nem hivatalos** jegyzet a 2019-es Kommunikációs hálózatok 2 (VITMAB01) tárgyhoz készült. A jegyzet semmiképpen nem helyettesíti az előadásokon való részvételt, nem tartalmazza a jegyzetben ”nem vizsgaanyag”-ként megjelölt részeket, illetve lehetnek benne hiányosságok vagy hibák. A zh-ra való felkészülés segítésére készítettem. Ezért örülnék minden pull requestnek és issuenak.

## 2. Beszédátvitel, telefonrendszerek

- Végberendezés/Endpoint: Klasszikusan: Telefonkészülékek.
- Kapcsolóközpontok: Egymással hierarchikusan összekötve
- Átviteli utak: Előfizető ↔ Központ, local loop/helyi hurok (rézpár)  
központok: Trönk (trunk) pl. koax, rádiós, fényszál
- Next Generation Networks: 2004 körüli koncepció,. Ötlet: egyetlen, csomagkapcsolt (IP) gerinchálózat + extra szolgáltatások: TV, telefon, ADSL

### NGN topológiai vázlat



Dense Wavelength Multiplexing → MPLS → Aggregációs hálózat → (xDSL, Optikai hozzáférés, KábelTV, Mobil, stb.) → Szélessávú hozzáférési hálózat → Felhasználói végberendezés.

## 3. Számozás

Számítógép-hálózatoknál címzésnek hívják (Numbering vs. addressing)

1	Észak-Amerika
2	Afrika+Grönland
3,4	Európa
5	Közép- és Dél-Amerika
6	Ausztrália és Óceánia
7	Oroszország, Kazahsztán
8	Távol-Kelet (+Inmarsat, Nemzetk. zöld szám: 800)
9	Közel- és Közép-Kelet

- Országon belül: belföldi rendeltetési szám + előfizetői szám
- Belföldi rendeltetési szám: Körzetszám, pl.: 33: Esztergom és környéke (földrajzi számok) Hálózatkijelölő szám, pl: 20: Telenor Szolgáltatáskijelölő szám, pl: 90: emeldíjas
- Fontos: a telefonszámok mindig prefix kódok azaz nem lehet egyik szám egy másik folytatása

- Nyílt számozási rendszer: Nem kell mindig a belföldi rendeltetési számot tárcsázni
- Zárt számozási rendszer: Mindig kell a belföldi rendeltetési szám, Nem kell viszont a belföldi előtét (0, vagy Magyarországon 06)
- 2010-től már mindig kell, mobilszámmező lezárása.

## 4. Analóg beszédátvitel

- **Cél: érthető beszéd átvitele. Régen FreqDivMult. Most: TimeDivMult.**  
Jó hangminőség: **0.3 – 3.4 kHz**  $\rightarrow$  3,1 kHz + védősávok = **4 kHz széles lesz egy beszédcsatorna**
- Digitális technika:
  - kapcsolás megvalósítható mozgó alkatrészek nélkül
  - magasabb fokú hálózati intelligencia valósítható meg
  - sokkal kifinomultabb jelzésátvitel lehetséges
  - adat és beszédjelek egységesen kezelhetők
- beszéddigitalizáló (kódoló-dekódoló: kodek)

## 5. PCM (Pulse Code Modulation, Impulzuskód moduláció)

- Adott egy „jel”: feszültség-idő függvény
- **A-D átalakítás lépései**
  - sávszűrés
  - mintavétel
  - kvantálás
  - kódolás
- **D-A átalakítás lépései**
  - D-A átalakítás a kvantálás inverz karakterisztikájával
  - sávszűrés (simítás)
- **Mintavételezés**
  - Van olyan, hogy elég minta a tökéletes visszaállításhoz?
  - **Nyquist-Shannon mintavételi tétele:**
  - Igen! A jel max. **frekvenciájának duplája** elég mintavételi frekvencia
- **Kvantálás**
  - Van olyan, hogy elég kvantálási szint a tökéletes visszaállításhoz? Nincs :(
  - Mindig marad hiba: a **kvantálási torzítás**
  - kevésbé precízen: „kvantálási zaj”
  - Megoldás: **nem egyenletes kvantálás**
  - logaritmikus karakterisztikával (az emberi fül is ilyen)
  - USA:  $\neq$  törvényű kvantáló ( **$\mu$ -law**)
  - Európa: A törvényű kvantáló (**A-law**)
  - hasonló, de nem kompatibilis, átkódolás kell
- Számolás:  $8000 \frac{minta}{sec} \star 8 \frac{bit}{minta} = 64 kb/s$
- **Auido CD-n is PCM-et használnak**
  - Mintavételezés: 44.100 Hz
  - Kvantálás: 16 bit (65.536 szint)
  - Sztereo: 2 független csatorna
  - Bitsebesség:  $44.100minta/s/csatorna \star 16bit/minta \star 2csatorna = 1.411.200bit/s \approx 1,4Mb/s \approx 176,4kB/s$

## 6. Beszédkódolók (Kodek, Codec)

- Ugyanaz a kódoló mindkét oldalon, vagy hálózaton belüli konverzió
- bitsebesség: **2,4 – 64 kb/s**
- **MOS (Mean Opinion Score, átlagolt véleménypontok)**
- **kódolási késleltetés:** minél nagyobb időszületet dolgozunk fel egyszerre, annál jobban tömöríthetünk – nagyobb késleltetés árán: 0,125 – 80 ms
- **komplexitás**

### 6.1. Kodek jellemzők

- **robosztusság:** hiba esetén nincs idő újraadásra, hibajavító kódolás, FEC (Forward Error Correction, előremenő hibajavítás)
- **tandemezhetőség és átkódolhatóság** (egymás után csatolás)
- **átlátszóság:** Hang (300-3400 Hz között), de nem beszédhang átvihető-e?  
Pl. a DTMF (Dual Tone MultiFrequency, kéthangú többfrekvenciás jelzésátviteli rendszer)
- **adaptivitás**  
terhelés esetén kisebb jelsebesség  
de: a hálózat nehezebben tervezhető

### 6.2. Kódoló típusok

- **Hullámforma kódoló**
  - analóg jel alakjának a megőrzése
  - jó minőség
  - nagy bitsebesség (ez hátrány, nem előny! :) )
  - átlátszóság
- **Vokóder**
  - adó oldalon: beszédből jellemző paraméterek kiszűrése
  - vevő oldalon: ezek alapján beszéd szintetizálás
  - kis sebesség
  - eredetire nem nagyon hasonlító hang
- **Hibrid kódoló**
  - előbbiek keveréke
- **AMR-WB: Adaptive Multirate, Wideband (HD hang)**
  - bő 10 éves szabvány, az utóbbi időben kezdték bevezetni  
mindhárom mobilszolgáltatónál  
egy hálózaton belül csak  
kizárólag 3G mobilhálózaton
  - Szélesebb spektrum, 16 kHz mintavételezés + más javítások a kódolón: nagyobb adatsebesség, jobb minőség

Kódoló neve	Fő alkalmazás	Adatsebesség (kb/s)
PCM	vezetékes távb. h	64
(GSM) FR	GSM	13
(GSM) HR	GSM	5,6
(GSM) EFR	GSM	13
AMR	3G mobil távb. h.	4,75-12,2
AMR-WB	3G mobil	6,6-23,85

FR: Full Rate, teljes sebességű

HR: Half Rate, félssebességű

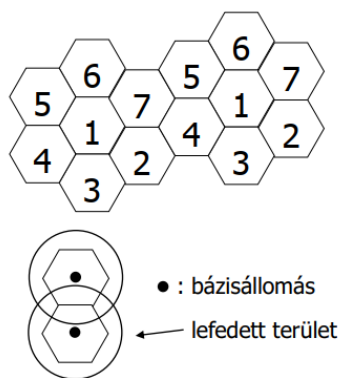
EFR: Enhanced Full Rate, javított teljes sebességű

AMR(-WB): Adaptive Multirate (-Wideband), adaptív többsebességű, szélessávú

## 7. Mobiltelefon-hálózatok

### 7.1. Cellás elv:

- frekvenciatartomány felosztva pl. hét részre
- cellás lefedés az ábra szerint
- azonos frekv.: két cella távolság, így nincs interferencia
- ez csak az elv, a gyakorlatban a cellák nem pont ilyenek! (pl. bázisállomás sokszor a cella „sarkában” van)



- Kisebbs cellák:
  - **előnyei:**
    - kis adóteljesítmény elég
    - nagyobb forgalom bonyolítható adott területen
  - **hátrányai:**
    - sok bázisállomás kell
    - költséges

### 7.2. 1G rendszerek:

1970, Analóg rendszer, nem kompatibilis hálózatok, Kb 450MHz, nagy (30-50km) cellák.

Skandinávia 1981, Hazánkban 1990-2003

### 7.3. 2G (GSM):

1990, Digitális rendszer, legelterjedtebb a GSM

Vannak/voltak más 2G rendszerek is (pl.: USA DAMPS: Digital AMPS)

## 8. GSM

- GSM: eredetileg: „**G**roupe **S**péciale **M**obile”, később: „**G**lobal **S**ystem for **M**obile communications”

európai szabvány (!): az ETSI készítette új koncepciók a GSM-ben:

1. közös, egységes rendszer Európában
  2. hívó fél fizet csak
  3. roaming
  4. SIM kártya (előfizető adatai készülékfüggetlenek)
  5. SMS
  6. titkosított beszédátvitel
- Digitális átvitel: beszédkódoló (A/D átalakító) a telefonkészülékben, adatátvitel, beszédátvitel egyaránt lehetséges
  - Sugárzási teljesítmény: max 2 W, adaptív: a minimális szükségessel ad a végberendezés
  - Cella átmérője: 0,5 – 35 km, tervezői döntés az adott tartományon belül, függ a frekvenciától, forgalomsűrűségtől, terjedési viszonyoktól

### 8.1. GSM 900 (Primary-GSM, P-GSM)

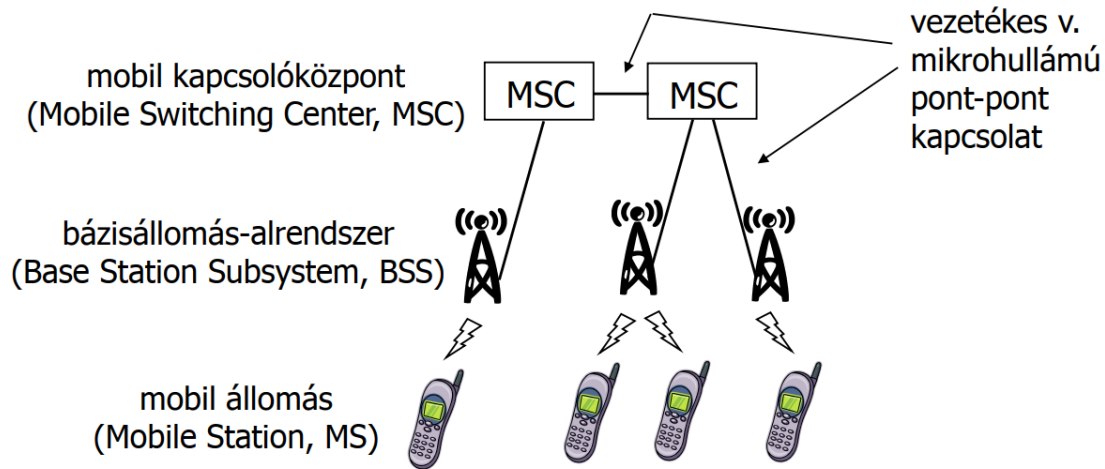
- Mobil adó kb 900MHz, bázisállomás is kb 900Mhz
- e tartományban kisebb frekvencia kisebb csillapítást szenved, így kisebb teljesítményt igényel, ezért a mobil adóé az alsó sáv
- 25 MHz-es sáv, egy vivő 200 kHz: 124 vivő (FDMA), ezen a helyi szolgáltatók osztoznak
- vivőnként 8 db időzés (TDMA)
- $40 \cdot 8 / 10 \approx 32$  csatorna / cella  $\rightarrow$  kb 32 egyidejű beszélgetés  $\rightarrow$  elég kevés
- Beérkező hívás esetén egy közös jelzés csatornán értesíti erről a végberendezést
- Kimenő hívás esetén egy másik közös jelzés csatornán kezdeményez a mobil
- **országos lefedésre alkalmas a technológia**

### 8.2. GSM 1800

- Mobil adó kb 1800MHz, bázisállomás is kb 1800Mhz
  - 75 MHz-es sáv (plusz háromszoros kapacitás!)
  - de: rosszabb a hullámterjedése (egyenest terjedés, gyorsabb csillapodás)
  - **emiat országos lefedésre nem, csak nagy forgalmú kis területek ellátására alkalmas**
- Kétnormás készülékek automatikusan váltanak frekvenciatartományt
  - **GSM átadás** (handover, handoff) mobil végberendezés átmegy egy másik cellába
    - közben nem szakad meg a kapcsolat, de ez 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 GSMben

# GSM hálózatok felépítése

□ (Túl)egyszerűsített ábra:



## 9. GSM hálózatok felépítése

### 1. 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

### 2. Hálózati alrendszer

- Mobil kapcsolóközpont (MSC)  
egy „hagyományos” telefonközpont  
mobil-specifikus bővítésekkel  
autentikáció, helyzetnyilvántartás, hívásátadás BSC-k között, barangolás
- 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)

### 9.1. Azonosítók a GSM-ben

#### 1. 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

#### 2. IMSI: International Mobile Subscriber Identity, nemzetközi mobil előfizető azonosító

- GSM hálózatokban elsősorban ez azonosítja az előfizetőt: az adatbázisok ezzel vannak indexelve
- a SIM kártyához van rendelve



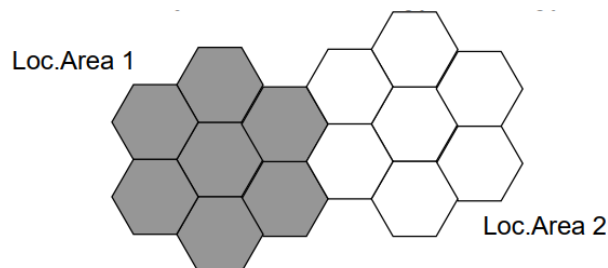
- egyedi a világon
  - IMSI = mobil országh kód (Mo: 216) + mobil hálózati kód (Mo.:01/30/70) + 10 jegyű mobil előfizető azonosító szám
  - szolgáltatóváltásnál az MSISDN maradhat, de a SIM kártyát és ezzel együtt az IMSI-t cserélni kell
3. **MEI:** International Mobile Equipment Identity, nemzetközi mobilkészülék-azonosító
- végberendezést azonosítja
  - egyedi a világon
  - IMEI = készülékazonosító (8 jegyű) + gyári szám (6 jegyű) + ellenőrző számjegy (1 jegyű) (+szoftver verzió)
  - Lekérdezése: \*#06#
4. **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

## 9.2. Végberendezés helyének nyilvántartása

Hogyan? cella szinten? Országis szinten?

Kompromisszum: "Location Area"

- néhány (tipikusan 20-30) cella együttese
- köztük 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!



## 9.3. GSM szolgáltatások

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

## 10. 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
- adatsebesség kb. 60-80 kb/s

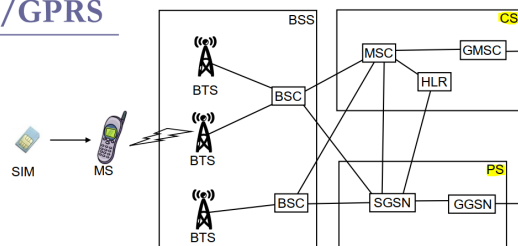
### 10.1. Áramkörkapcsolás („vonalkapcsolás”, circuit switching)

- 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

### 10.2. Csomagkapcsolás (packet switching)

- az átvitt információt kis csomagokra bontva továbbítjuk
- nem kell hívásfelépítés, bontás
- előny: **statisztikus multiplexelés**  
ha épp nincs kommunikáció, más is használhatja a csatornát olcsóbb!
- hátrány: minőség nem garantált, (Quality of Service, QoS) biztosítása külön feladat

#### GSM/GPRS



### 10.3. EDGE: „2,75 G” (Enhanced Data Rate for Global/GSM Evolution)

- javított modulációs eljárás: eredetileg 1 bit/szimbólum → EDGE: 8PSK, 3 bit/szimbólum
- háromszoros adatátviteli sebesség  
ez csak jobb jel/zaj viszony esetén működik
- adatsebesség kb. 150-180 kb/s

## 11. Mobiltelefon-hálózatok: UMTS

Universal Mobile Telecommunications System, Egyetemes mobil távközlési rendszer

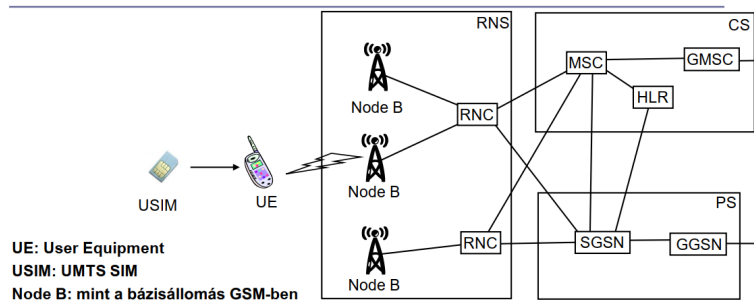
célok:

GSM-nél jobb beszédhangminőség, frekvenciakihasználtság, nagyobb adatátviteli sebesség, GSM kompatibilitás

### 11.1. UMTS szolgáltatások

- Beszédátvitel: Adaptive MultiRate (AMR) kodek, 4,7 – 12,2 kb/s
- Adatátvitel, Internet elérés (sima 3G)
  - városban tipikus max. 384 kb/s
  - vidéken tipikus max. 144 kb/s
  - (GSM: kb. 14 kb/s, GSM/GPRS: kb. 50-80 kb/s, EDGE+GSM/GPRS: kb. 150-180 kb/s)
- Multimédia szolgáltatások (IP nélkül 3G felett)
  - videotelefonálás – nem sokan használják
  - TV adások közvetítése, rádióhallgatás, filmek, zenék letöltése – nem váltak be

#### Az UMTS hálózat

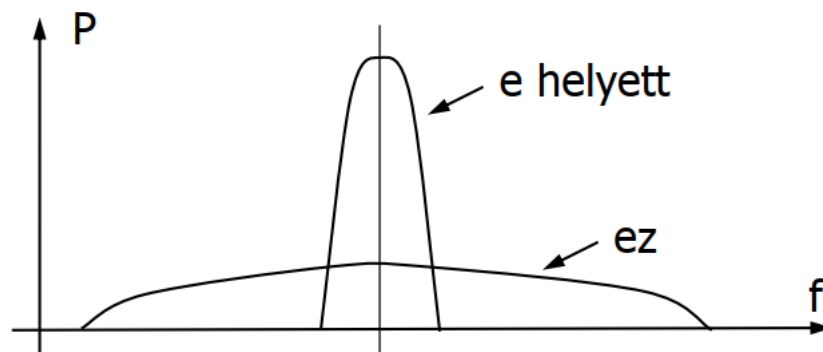


### 11.2. Duplexitás kezelés

fel- és lefele irányú adatok elkülönítése

Alkalmazott lehetséges megoldások: **időben, rekvenzában**

- Mindkettőt használják UMTS-ben (de nem egyszerre) 1885-2025 és 2110-2200 MHz:
- FDD: Frequency Division Duplexing
  - nagyobb frekvencia a lefele irányban (nagyobb csillapítás → nagyobb teljesítmény kell)
- TDD: Time Division Duplexing
  - a fel- és letöltés időben váltakozik ugyanabban a frekvenciasávban
  - előnye: a fel/letöltés aránya dinamikusan változtatható az aktuális igények függvényében
- Nagy frekvencia: csupán pár (3-5) km átmérőjű cellák
- A frekvenciákat 5 MHz-es csatornákra osztják, melyekben **CDMA**-t használnak
- **CDMA**, Code Division Multiple Access, kódosztásos többszörös hozzáférés (KH1 tárgy már érintette) (SD-CDMA)
- Ugyanaz a frekvencia, ugyanaz az idő, más kód
- Minden jel „szétkenve” a teljes spektrumra, de kis teljesítménnyel



### 11.3. UMTS kódosztás

A kódolás két menetben történik

- nulladik lépés a csatornakódolás (channel coding) ez nem ugyanaz, mint a csatornázási kódolás, ez hibajavító kódolás (avagy előremenő hibajavítás, forward error correction, FEC)
- csatornázási kód (channelisation code) kiterjesztés / spreading néven is fut
- keverő kódolás (scrambling)
- utána jön a rádiófrekvenciás modulálás, kisugárzás

#### 11.3.1. Csatornázási kód

- Működés: DS-CDMA (Direct Sequence CDMA, közvetlen sorozatú CDMA)
  - a digitális jelet összeszorozzuk egy ún. szóró kóddal (spreading code), és ezt sugározzuk ki
  - a szorzás pontosabban:  $\text{NOT}(\text{XOR}(\text{bit1}, \text{bit2}))$
  - a kisugárzott jel hozzáadódik a többi adó által kisugárzottéhoz
- A szóró kód bitsebessége (chiprate) sokkal nagyobb (kb. 100x)
- A szóró kódok ortogonálisak, azaz egy bitidőre átlagolva két szórókód szorzatát nullát kapunk

#### 11.3.2. Kódosztás

- STEP 1. A szóró kódot és az elkódolni kívánt adatot is reprezentáljuk a következőképp:
  - $1 \rightarrow 1$
  - $0 \rightarrow -1$Vegyük észre: ekkor  $\text{NOT}(\text{XOR}(a,b))$  valójában  $a*b$ , azaz szorzás
  - $1*1=1, 1*-1=-1, -1*1=-1, -1*-1=1$
- STEP 2. Végezzük el a szóró kód összeszorozását a küldendő adattal
  - a szóró kód összes bitjét szorozzuk az adat egy adott bitjével, így jelentősen megnő a jelsebesség
- STEP 3. Sugározzuk ki az így kapott jelet a közös frekvencián
  - Modellünkben egyszerűen összeadjuk az összes így kapott jelet
  - Dekódolás
- STEP 1. A vett jelet (a kódolás STEP 3 összege) szorozzuk meg az adó szóró kódjának a bitjeivel sorban.
  - Ahány bitet kívánunk venni, annyiszor ismételjük ezt meg
- STEP 2. Az így kapott értékeket átlagoljuk bitidőkre
- STEP 3. Ha az átlag 1: a küldött bit 1. Ha az átlag -1: a küldött bit 0
- STEP 4. Ismételjük meg mindezt az összes vevőre

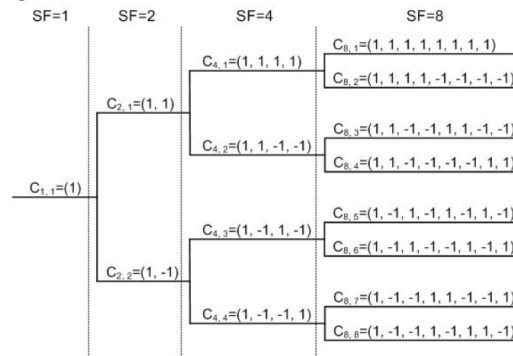
Kódosztásos példa, számolás 3Gs jegyzetben 15.o –

#### 11.3.3. OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor)

- Tökéletesen ortogonális kódszavak
- Nevük: Ortogonális, változtatható kiterjesztési faktorú (Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF) kódok, avagy **Walsh kódok**
  - Azonban az ortogonalitás csak akkor teljesül, ha pontosan egy fázisban vannak a kódok
- nem azonos kezdőfázis esetén sem magával, sem másik kóddal nem nulla a korrelációja
- azaz közös órajel kell
  - Gyakorlatban: azonos adó különböző csatornáinak elválasztására használják
- Node B-ben: különböző végberendezéseknek szóló jelek elkülönítésére

- Végberendezésben: jelzés és adatjelek elkülönítésére

#### □ OVSF kód generálása



#### □ Vagyis:

- $C_{2x,2y-1} = (C_{x,y}, C_{x,y})$  és  $C_{2x,2y} = (C_{x,y}, -C_{x,y})$
- Látszik, hogy  $2^n$  hosszú kódból  $2^n$  darab van

- E kód a keskenysávú bemenő jelet szélessávúvá alakítja  
A kiterjesztési faktor változik 4 és 512 között
- azt adja meg, hogy hányszorosa lesz a chipsebesség a bitsebességnek
- másképpen: hány chip hosszú egy szóró kód
- ismét másképp: hány db. szóró kód van  
A chipsebesség viszont mindig fix: 3 840 000 chip/sec
- azaz 3,84 MChip/s, 3,84 Mcps  
Tehát kisebb adatsebességhez nagyobb kiterjesztési faktor tartozik, nagyobb adatsebességhez kisebb
- több hosszabb kód van, kevesebb rövidebb
- azaz kisebb adatsebességből többet tudunk küldeni egyszerre, nagyobb sebességből kevesebbet, a szorzat állandó

### 11.3.4. Keverő kódolás

- Csak kvázi ortogonálisak egymásra, ugyanakkor önmaguk időbeli eltolójára is kvázi ortogonálisak  
Fajtájuk ún. pseudo-noise, „ál-zaj” kódok, nevük **Gold kód**  
Célja az adóberendezések megkülönböztetése. Adónként van egy ilyen kód  
lefele irány: cellák (azaz Node B-k) elkülönítése  
felfele irány: végberendezések elkülönítése  
Nem igényelnek szinkronizációt a források között  
„Cserébe” nem teljes az ortogonalitás: a vevő az egyik forrás jelének dekódolásakor a többi forrás jelét enyhe zajnak érzékeli  
A cella kapacitását itt az szabja meg, hogy meddig nem zavaró még ez a zaj a dekódolásban  
Ez nem egy fix korlát!  
A GSM FDMA/TDMA rendszerében a vivők/időrések száma fix korlátot adott

### 11.3.5. Összefoglalás

	csatornázási kód	keverőkód
cél	forráson belüli adatfolyam elkülönítése	források elkülönítése
kódhossz	4..256 chip fel, 4..512 chip le	38400 vagy 256 chip fel, 38400 chip le
kiterjesztés	van, növeli az adási sávszélességet	nincs
ortogonalitás	tökéletes	nem tökéletes
szinkronizáció	szükséges	nem szükséges

## 11.4. UMTS teljesítményszabályozás

- Nem tökéletes az alkalmazott keverő kód ortogonalitása
- Emiatt más egy adott mobil eszköz jelét figyelve a bázisállomáson a többi mobil jele zajként jelentkezik
- Ezért az kell, hogy minden mobil jele kb. egyforma teljesítménnyel érkezzon a Node B-hez  
különbön az erősebb jel elnyomja az összes gyengébbet
- Megoldás: Node B felszólítja a mobil eszközt a teljesítmény növelésére/csökkentésére
- 1500/sec gyakorisággal(!)  
Különbön pl. egy épület mögöl előbukkanó, eddig erősen adó eszköz tönkretenné az egész cella kommunikációját
- GSM-ben is van ilyen:  
telep kímélésére, élettani kockázat csökkentésére  
más, távoli de azonos frekin üzemelő cellákkal való interferencia elkerülésére  
2/sec gyakorisággal (!)

### 11.4.1. UMTS cellalélegzés

Több felhasználó egy cellában

- → nagyobb „háttérzaj”  
hisz nem tökéletesen ortogonálisak a keverő kódok
- → kisebb cella használható csak effektíven  
a távol lévő állomások kirekesztődnek
- ⇒ a cella mérete változik a forgalomtól függően  
a cella „lélegzik”
- megnehezíti a cellatervezést

## 12. HSPA (High-Speed Packet Access, nagy sebességű csomagkapcsolt hozzáférés)

- UMTS továbbfejlesztése nagyobb adatsebességek felé
- 2 protokoll közös neve:  
HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, nagy sebességű csomagkapcsolt letöltési hozzáférés)
- akár 14 Mb/s  
HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, nagy sebességű csomagkapcsolt feltöltési hozzáférés)
- akár 5,76 Mb/s
- Az UMTS része, annak részben továbbfejlesztése  
3,5G néven is emlegetik  
2010-es évek első éveiben vezették be
- A következő lépés: HSPA+  
elvi max 42 Mb/s le, 22 Mb/s fel  
„3,75 G

## 13. 4G/LTE: Long Term Evolution

- Negyedik generációs mobilhálózat
- **IP alapú, csomagkapcsolt átvitel**
- Nagy sebességű internet biztosítása
- Csak internet, hangátvitelhez **VoLTE** kell (később)
- 3 fő szabvány: LTE, LTE-Advanced, LTE Advanced Pro
- Felhasználói igény: Gyorsabb mobil internet, Multimédiás tartalmak, videó letöltése
- Operátorok igénye: Új szolgáltatások, jobb szolgáltatásminőség, több előfizető kiszolgálása, Gazdaságosabb hálózat üzemeltetés
- Gyártók igénye: új eszközök és szolgáltatások eladása

### 13.0.1. LTE világszerte

#### GSM vs. CDMA szabványú hálózatok

- CDMA mint... közeghozzáférés vs. szabvány gyűjtőnév
- Szabványok
  - GSM (3GPP): Európai eredetű, ETSI által megalkotva
  - CDMA (3GPP 2): Amerikai eredetű, Qualcomm (chipgyártó) által
  - 2G: CDMAOne — 3G: CDMA2000 / EV-DO
  - A CDMA szabványú hálózatok már 2G-ben is CDMA-t használtak közeghozzáférésre ellentétben a GSM-el
- A mobilkészülékek nem kompatibilisek egymással
  - GSM: SIM alapú felhasználó azonosítás
  - CDMA: hálózat alapú beengedés szabályozás, telefon alapján
  - ESN: Electronic Serial Number (~IMEI)
- LTE: egységes szabvány, SIM alapú
  - Verizon: 2019 végén leállítja 2G/3G CDMA szolgáltatását
- **Különböző frekvenciák vannak és nem minden készülék támogat minden frekvenciát**

### 13.0.2. LTE követelmények

- 3G továbbfejlesztések (MIMO)
  - Csomagkapcsolt hálózatra való optimalizálás**
  - IMT Advanced Standards – LTE követelmények
- „All-IP” csomagkapcsolt hálózat
- 100 Mbps gyorsan mozgó / 1 Gbps nem mozgó felhasználónak
- 5-20 MHz skálázható sáv szélesség
- **Együttműködés korábbi (2G/3G) rendszerekkel**
  - Ezen követelményeket majd az LTE Advanced teljesíti
- Erre hivatkozunk, mint az igazi „4G” rendszer

### 13.1. Tulajdonságok

- Rádiós késleltetés max 5 ms
- 1-5 km sugarú cellák

### 13.1.1. OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

- Változó szélességű spektrumallokáció: 1.4, 3, 5, 10, 15 vagy 20 MHz vivő
- Alvivők (15 kHz) átlapolódhatnak

### 13.1.2. MIMO (Multiple In, Multiple Out)

- MIMO: adatsebesség növelése az adatküldés párhuzamosításával
- Több antenna a bázisállomásban és a készülékekben is
- Ugyanaz a frekvencia és idő, de más adatfolyam megy át
- Massive MIMO: 8-nál több antenna
- **MU-MIMO (Multi User MIMO):** egyszerre nem csak egy klienst szolgál ki időben osztott módon
- **Beamforming:** mobil / WiFi kliens tudatja a helyét a bázisállomással / routerrel, aki irányítottan sugároz felé vezérelve a jel fázisát és amplitudóját/jelszintjét
  - Jobb sávszélesség kihasználás, nagyobb hatótávolság
  - Példa: lámpa búra nélkül vs. búrával

### 13.1.3. Cellák

Többféle cellaméret, interferencia lehetősége

- Heterogén hálózatok (HetNet) / Small Cells
- **Több különböző cellatípus kombinálása, cella a cellában → interferencia**

## 13.2. LTE technikák

### 1. Nagyobb adatsebesség

- OFDMA, alvivők, változó szélességű spektrumallokáció
- 64-QAM moduláció
- MIMO & Beamforming – küldés párhuzamosítása & irányított sugárzás
- Vivő aggregáció

Több vivő összefogása → jobb adatsebesség, kisebb késleltetés

### 2. Több felhasználó kiszolgálása

MU-MIMO

### 3. Lefedettség & helyi adatsebesség

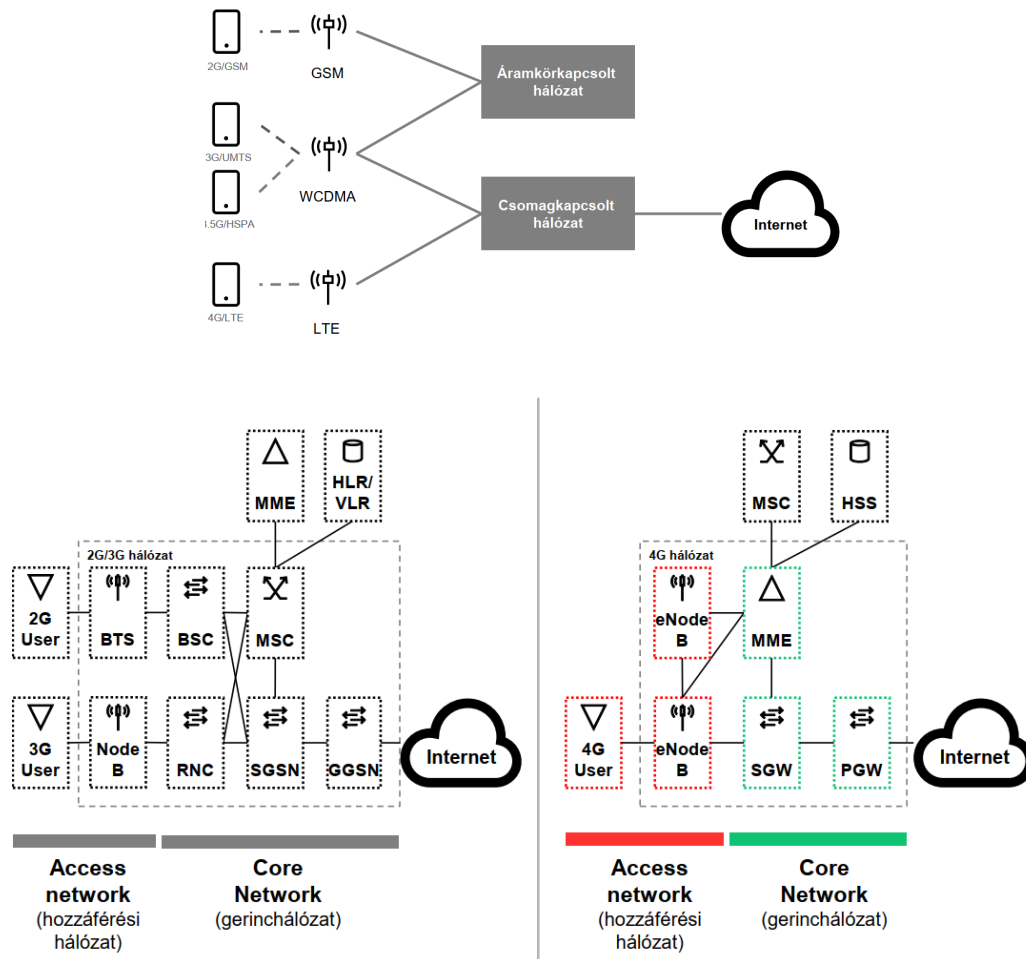
- Small cells – többféle cellaméret, „cella a cellában”
- Relay eNodeB – átjátszó, jelkorrekciós funkció
  - Kis energiafogyasztású „Small cell” a cellahatárnál
  - Donor eNodeB-hez (DeNodeB) kapcsolódik (olyan eNodeB, mely Relay eNodeB-t támogat)

### 4. Offload (tehermentesítés) & nagyobb adatsebesség

- VoWiFi (később)
  - DE! készülék támogatás is kell több technológiához (pl. MIMO, vivő aggr.)

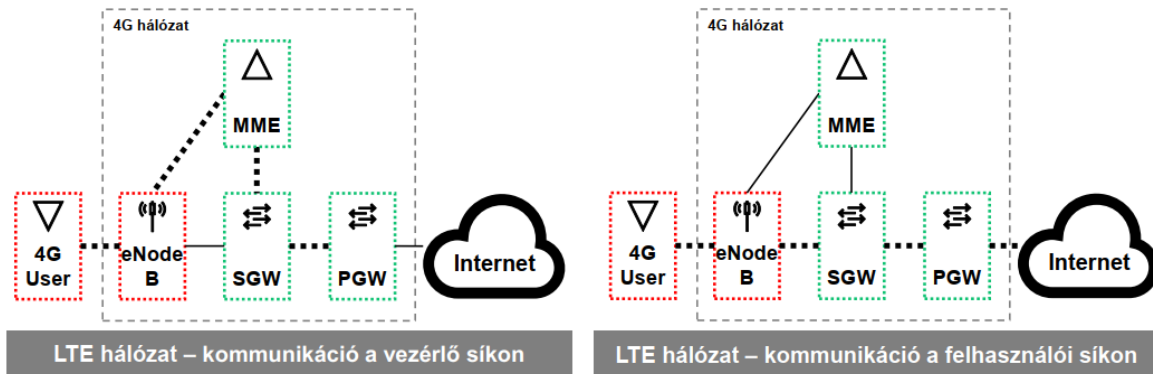


### 13.3. LTE architektúra



- **eNodeB** – LTE bázisállomás  
Nincs külön Controller (pl. RNC 3G-nél)  
eNodeB része → kisebb késleltetés
- **SGW** (Serving Gateway)  
IP adattovábbítás a felhasználó és a külső hálózat között  
Mobilitásban is szerepe van
- **PGW** = PDN GW (Packet Data Network Gateway)  
Kilépési pont külső hálózatok felé  
IP cím allokáció  
Házirend/szabályok alkalmazása  
„Charging” támogatása
- **MME** (Mobility Management Entity)  
Felhasználó követés és paging (UE felébresztése „idle” módból)  
Csak vezérlő üzeneteket kezel, központi vezérlő funkció az LTE-ben  
Mobilitás kezelés  
Hordozó (bearer) aktiválás  
SGW választás  
Authentikáció kezelése (HSS)
- **HSS** (Home Subscriber Server)  
Felhasználói adatok

### 13.3.1. Vezérlés és felhasználói adat



### 13.4. LTE handoverek

Hard handover, mivel...

1. Nehézkes a vivő szinkronizáció az OFDMA miatt (resync handovernél)
2. Controller node hiánya

Mobil készülék mérései alapján az eNodeB dönt

**Handover típusok:**

- Intra-eNodeB Handover
  - Cellaváltás eNodeB-n belül
  - Frekvencia váltás
- Inter-eNodeB X2 Handover
  - Közvetlen interfész (X2) szükséges az eNodeB-k között
  - MME nem változik, SGW változhat
- S1 Handover
  - Ha nincs közvetlen X2 interfész
  - MME és SGW változhatnak Bevezető 4G / LTE VoLTE VoWiFi 5

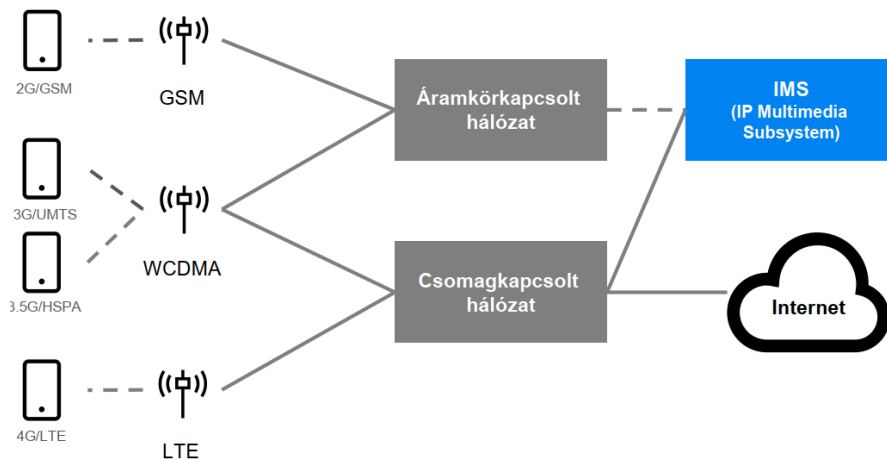
## 14. VoLTE (Voice over LTE)

- Operátorok igénye:
  - Hang átvitele LTE fölött → Voice over LTE (VoLTE)
    - Hanghívás jelenti még mindig a bevételek nagy hányadát
  - Célok:
    - Jobbminőségű hangátvitel
    - HD Voice, kis késleltetés
    - Energiahatékonyság
    - Gazdaságosabb hálózatüzemeltetés
    - Új operátoroknál felmerülhet a kizárólag LTE alapú megoldás
- VoIP vs VoLTE:
  - VoLTE = VoIP?
    - IP alapú hangátvitel, garantált minőségű!
  - VoLTE = LTE + IMS?
    - IMS = IP Multimedia Subsystem
    - Alkalmazás / kapcsolat kezelő / média szerverek (hálózati funkciók) összessége
    - IMS – az egyetlen standard multimédiás szolgáltatás LTE-re

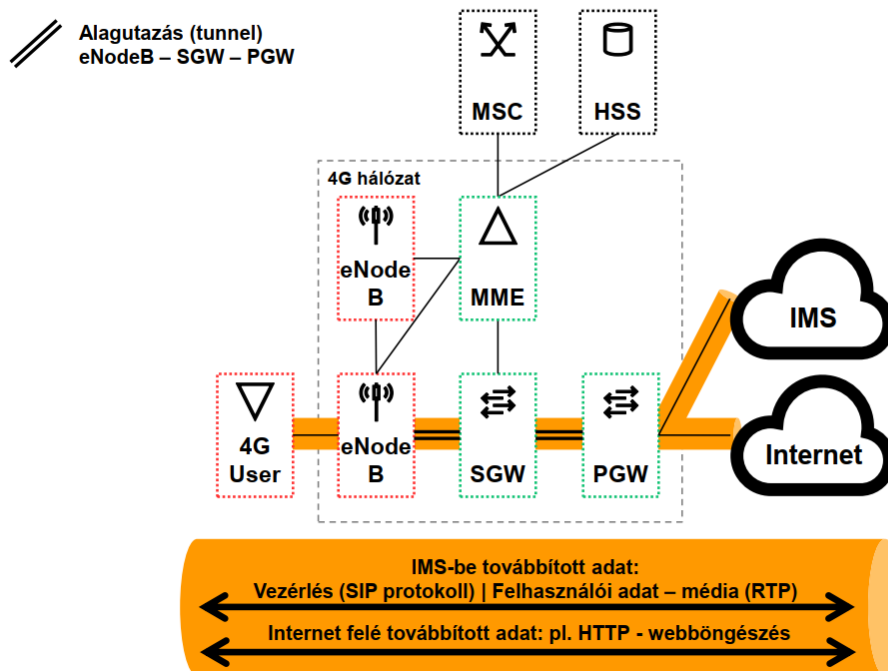
## 14.1. Használati feltételei

1. Hálózati támogatás  
Speciális chipset
2. A 2 kapcsolat fenntartása (internet + IMS)
3. Média kodek támogatás  
VoLTE feature elérhetősége
4. SW upgrade (példa: Samsung Galaxy S5 – 2014 június)
5. OS: Android 5+, iOS 8+  
Telefon beállítások

## 14.2. VoLTE architektúra



### ■ Újdonság az LTE architektúrához képest: IMS



### 14.2.1. LTE hordozók

- LTE emlékeztető: hogyan jut el egy csomag a felhasználótól a külső (internet) hálózatba  
Rádiós interfész + alagutak (tunnel-ek) → együtt hordozó

- **Hordozó (bearer)**

- Logikai egység a felhasználói készülék (UE) és PGW között
- Adott végponthoz / szolgáltatáshoz (pl. internet) kapcsolódik  
APN: Access Point Name – végpont neve

- **VoLTE**

- **IMS** kezeli a multimédia szolgáltatásokat
  - \* **SIP vezérlő protokoll + RTP médiacsomagok**
  - \* Ezeket az üzeneteket is el kell juttatni az **LTE gerinchálózaton keresztül az IMS-be** → hogyan lehetséges?  
Hasonlóan, mint az internet végpont esetében  
DE! egy hívásnak más **QoS (Quality of Service) követelményei** vannak  
9 QoS osztály adott csomagvesztési rátával és késleltetéssel  
QCI = QoS Class Identifier (QoS osztály azonosító)

- Két hordozó típus:

1. **Default (alap) – QoS nem garantált**

- Hálózatra csatlakozáskor épül fel (úgynevezett **Attach** procedúra során)
- Megmarad a hozzárendelés a hálózat lebontásáig (**Detach**)
- Több is létrehozható különböző szolgáltatásokhoz, példák:  
**LTE**: csak Internet APN-hez tartozó Default hordozó  
**VoLTE**: IMS és Internet APN-hez tartozó két külön Default hordozó

2. **Dedicated (dedikált) – garantált QoS**

- **Ideiglenesen épül fel** például audio vagy video híváshoz  
Hívás végén lebontásra kerül
- Mindig valamely **default hordozóhoz kötődik**  
Pl. VoLTE hanghíváshoz tartozó dedikált hordozó az IMS APN-hez

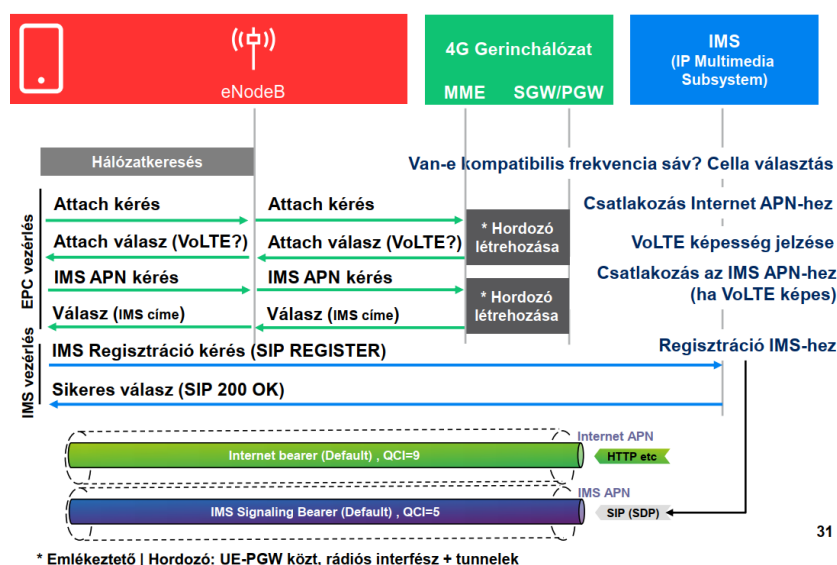
- **UE és PGW** kényszeríti ki a QoS-t

Prioritizálás, sáv szélesség/forgalom szabályozás

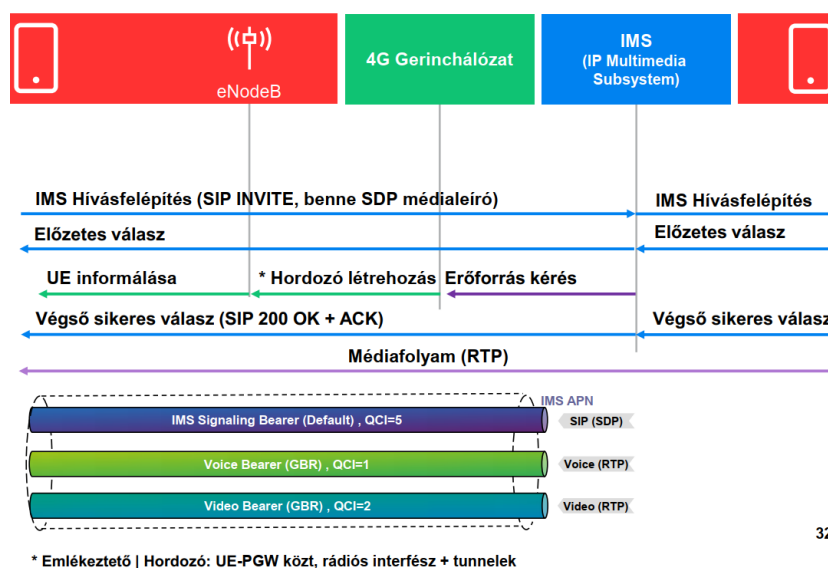
Forrás/cél IP és port valamint protokoll alapján Bevezető 4G / LTE VoLTE VoWiFi 5G

## 14.2.2. kapcsolódás a hálózathoz

### VoLTE – kapcsolódás a hálózathoz



# VoLTE – hívásfelépítés



32

## 14.3. VoLTE + 2G/3G?

- **ICS (IMS Centralized Services)**  
Multimédia szolgáltatás az IMS-től 2G/3G-n is
- **CSFB (Circuit Switched Fall Back)**
  - Hívásindításkor fallback 2G/3G-re
  - Hívásfogadáskor a „paging” (UE felébresztése) LTE-n történik
  - Adatkapcsolat – 2 opció
    - Megszakad amíg a hívás be nem fejeződik
    - 2G/3G-re átkerül → lassabb adatsebesség
  - Attach szükséges 2G/3G és 4G rendszerhez is
  - Nagy hívásfelépítési idő
- **SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)**
  - Hívás közben handover 4G-ről 2G/3G-re a hívás megszakadása nélkül
  - **rSRVCC (Reversed SRVCC):** 2G/3G-ről 4G-re
  - **UE** az **Attach** során jelzi, hogy támogatja-e az **SRVCC**-t

## 14.4. VoLTE összefoglaló

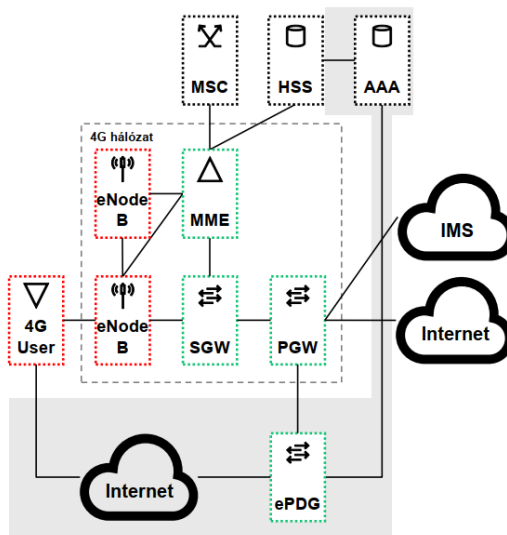
- VoLTE = LTE + IMS + specifikus követelmények a hálózat különböző részeire
- Hordozók
  - Internet APN – internetes adatsomagok továbbítása
  - IMS APN – multimédiás (pl.hang) szolgáltatások
  - Vezérlés: SIP (a default/alap hordozón)
  - Felhasználói adat: RTP (dedikált hordozón)
- Hálózathoz kapcsolódás és hívásfelépítés lépései
- 2G/3G kompatibilitás ICS, CSFB, SRVCC

## 15. VoWiFi – Voice over WiFi

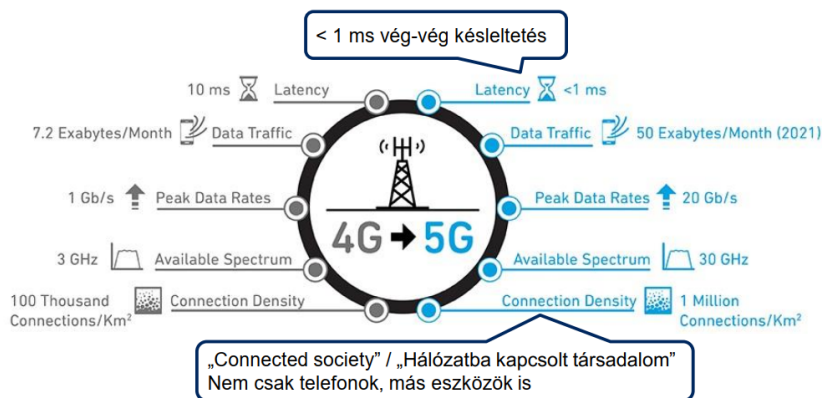
- **Motiváció**
  - Otthoni beltéri lefedettség – VoLTE hívás problémás lehet → lefedettség kiterjesztés
  - 4G cellák és frekvenciahasználat csökkentése (offload)
- **Opciók**
  - LTE Femtocellák (3G femtocellák cseréje)
  - VoWiFi
    - Kiegészítő szolgáltatásként
    - Szolgáltatás folytonosság WiFi kihasználásával
    - Meglévő infrastruktúra
    - Telefonnak támogatnia kell (pl. iOS 8+)
- **Előnyök**
  - Nem kell külön alkalmazás
  - Meglévő hívószám használata
  - Hívásindítás
    - 2G/3G/VoLTE/WiFi transzparens módon
  - Hívás közben
    - Hívás folytonosság – LTE-VoWiFi vagy WiFi-WiFi handover
  - Azonos számlázás, mint VoLTE esetben
    - Hozzáférés független szolgáltatás
  - Nincs roaming díj
- **Trusted / Untrusted**
  - **Trusted:** ugyanaz az operátor biztosítja a mobil és WiFi szolgáltatásokat
  - **Untrusted:** tetszőleges WiFi hozzáférési pont használata

### 15.1. VoWiFi – architektúra („untrusted”)

- **ePDG**
  - **Evolved Packet Data GW**
  - Biztonságos kapcsolat (IPSec) kiépítése a 4G készülékkel
  - SGW-szerű funkció
  - PGW választás
  - Mobilitás
  - Trusted esetben más funkció ePDG helyett
- **AAA**
  - **Authentication, Authorization, Accounting**
  - Biztonsági kulcs
- **HSS**
  - Felhasználói adatok



## 16. 4G → 5G (úton az 5G felé...)



### Költséghatékony

- Kisebb átviteli költség / bit
- Kisebb energiafogyasztás / bit

### Nagysebességű adatátvitel – 1-10 Gbps

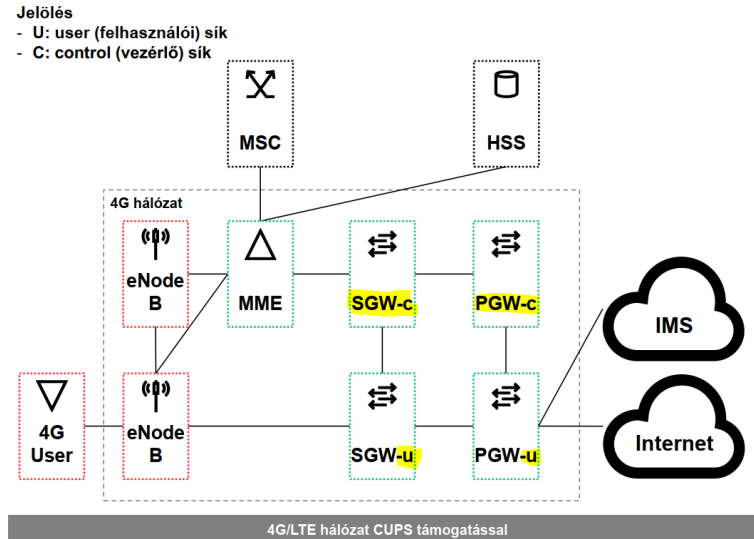
- Új rádiós interfész (NX) – 6-100 GHz sáv
- 10x spektrális hatékonyság

### 16.1. 5G alkalmazások

Például:

1. Autonomous driving
2. Augmented reality
3. Tactile internet
4. Virtual reality
5. Critical control of remote devices
6. ...

## 16.2. CUPS (úton az 5G felé...)



- **CUPS (Control and User Plane Separation)**

Vezérlő és felhasználói adat síkok elkülönítése

Skálázhatóság javítása

- Példák:

**Vezérlés:** IoT – sok eszköz, eszközönként kevés forgalom

**Felhasználói adat:** új adatsomag, pl. ingyen YouTube

- Access Network / Hozzáférési hálózat

– LTE-nél már látott megoldások, azok továbbfejlesztései

**MIMO, Vivő aggregálás, Beamforming, LTE-U** továbbfejlesztése

Rugalmas spektrumallokáció

**Heterogén hálózat / SmallCells**

## 16.3. Core Network / Gerinchálózat

- Szakítás a telekommunikációs szemlélettel → IT

- **SBA – Service Based Architecture**

Független szolgáltatások elérése HTTP API-kon keresztül

- **NFV – Network Function Virtualization**

Hálózati funkciók virtualizálása, szoftver – hardware függetlenítés

Infrastruktúra megosztása központi adatközpontokban → **költségcsökkentés**

- **SDN – Software Defined Networking**

NFV kiegészítése a topológia dinamikus konfigurálásának lehetőségével

- **Network slicing (hálózatszeletelés)**

Alkalmazási igények mentén több különböző (pl. Telekom / IoT / Industry) gerinchálózat különböző minőségi követelményekkel

## 16.4. 5G helyzetkép

- 2016/2017 – 5G teszt

– 800MHz sáv szélesség 15 GHz-en (Ericsson & SK Telekom)

1 Gbps végpontok közötti sebesség

4 ms késleltetés



- Handover teszt nagy sebesség mellett (KDDI & Samsung)
- Telekom + Ericsson: első 5G kapcsolat (22 Gbps)

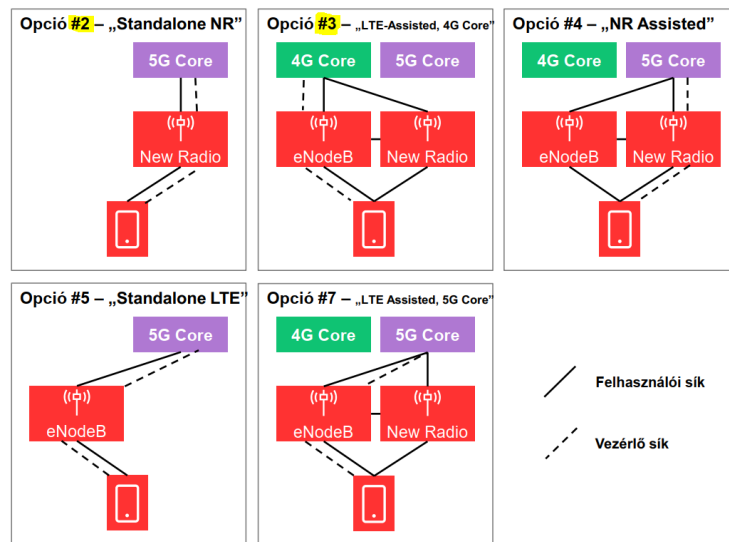
Szabványosítás folyamatban

- 
- 3GPP: Release 15 (2018) — Release 16 (2019 dec)

2019-ben már kezdeti bevezetés vezető operátoroknál

## 5G bevezetés - opciók

Ami kell: Option #2 és #3



47

## 17. Rövidítések

- Alapfogalmak
  - DL = downlink, letöltési irány
  - UL = uplink, feltöltési irány
  - Technológiák
  - LTE / LTE-A = Long Term Evolution Advanced
  - VoLTE / ViLTE = Voice/Video over LTE
  - VoWiFi = Voice over WiFi
  - EPC = Evolved Packet Core
- Technikai megoldások
  - FDD / TDD = Frequency/Time Division Duplexing
  - OFDMA = Orthogonal Frequency Division Multiple Access
  - (MU-)MIMO = (Multi-User) Multiple In, Multiple Out
  - ICIC: Inter-Cell Interference Coordination
- 2G/3G kompatibilitás
  - ICS (IMS Centralized Services)
  - CSFB (Circuit Switched Fall Back)
  - SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)
- Hálózati elemek
  - eNodeB = evolved NodeB, bázisállomás
  - SGW = Serving Gateway
  - PGW = Packet Gateway
  - MME = Mobility Management Entity
  - HSS = Home Subscriber Server
  - IMS = IP Multimedia Subsystem
  - ePDG = Evolved Packet Data Gateway
  - AAA = Authentication, Authorization, Accounting
- Hordozók, alagutak, minőségbiztosítás
  - 
  - APN = Access Point Name
  - QoS = Quality of Service
  - QCI = QoS Class Identifier
- 5G
  - CUPS = Control and User Plane Separation
  - SBA = Service Based Architecture
  - NFV = Network Function Virtualization
  - SDN = Software Defined Networking

## Hivatkozások

- [1] Kommunikációs hálózatok 2 diák:  
<http://w3.tmit.bme.hu/kh2/>
- [2] KH2 mérési segédletek  
<https://qosip.tmit.bme.hu/foswiki/bin/view/VITMAB01/WebHome>