



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

Cellás rendszerek

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
1. gyakorlat

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020.09.10.



- miért más, mint a vezetékes kommunikáció?
 - terminálok nem fix helyen vannak → képesek mozogni
 - rádiós csatorna bárki számára könnyen hozzáférhető → biztonsági kérdések
- a terminálok mozgása több kérdést is felvet
 - hogy jut el a hívás egyik féltől a másikig
 - mobilt hogy találjuk meg
 - hitelesítési problémák
 - cella lefedettségi területe nem véges
 - stb.

- a kutatás/fejlesztés legnagyobb kihívásai két fő problémakörből adódnak:
rádiós csatorna tulajdonságai és felhasználói mobilitás
- **a csatorna:**
 - kis kapacitás (sávszélességtől és adóteljesítménytől függ, sávszélesség nagyon drága) (Shannon **átviteli sebesség** $< B \cdot \log_2(1+S/N)$)
 - zaj; időben és helytől függően (drasztikusan) változó csatorna csillapítás; interferencia (mások is használhatják ugyanazt a sávot, vagy áthallás)
 - a keskeny csatornát a lehető leghatékonyabban kell kihasználni (legtöbb bit per szekundumot átvinni)
 - mivel mindenki hallja, sokkal könnyebb lehallgatni, ill. zavarni: kényes a biztonság

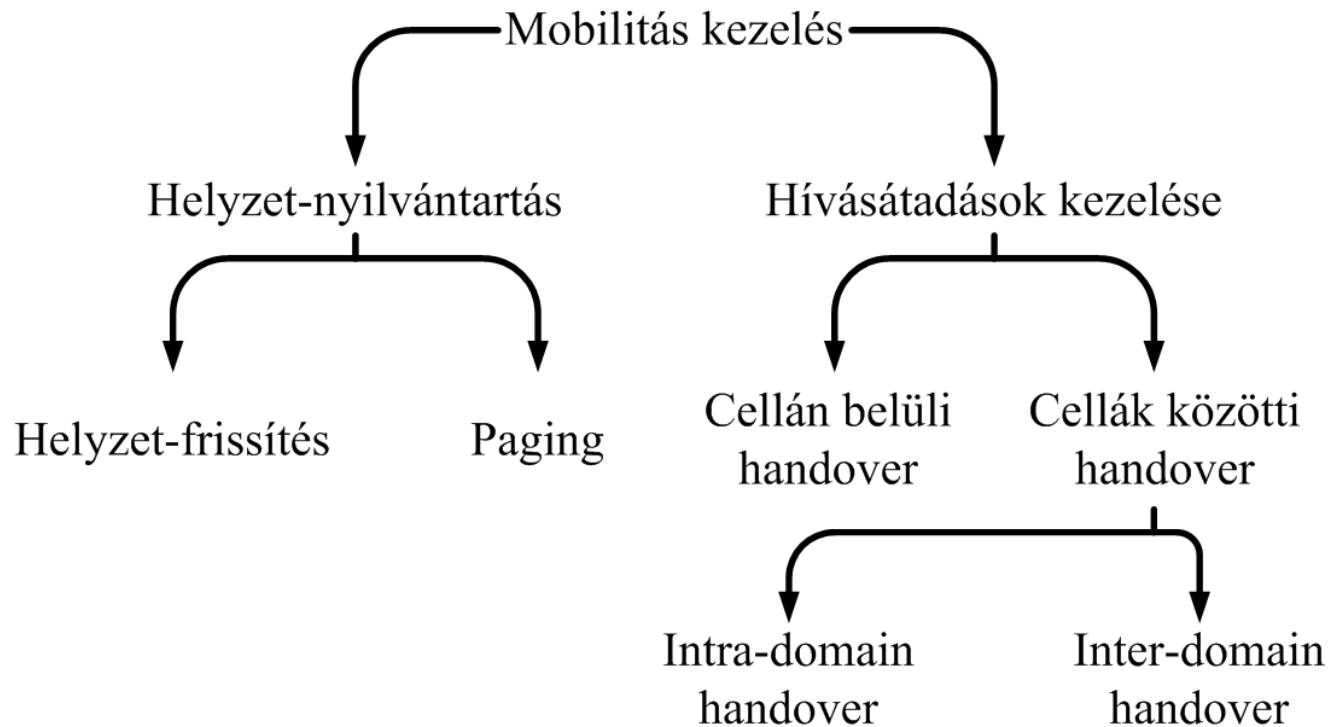
• felhasználói mobilitás:

- a felhasználók rádiós interfészen keresztül csatlakoznak a (globális) hálózathoz, egy hálózati csatlakozási ponton keresztül (bázisállomás, hozzáférési pont)
- mozgás során eltávolodhatnak, másikhoz csatlakozhatnak (ha kommunikáció közben történik: **handover**): ez történhet akár különböző szolgáltatók, vagy hálózatok között is!
- ennek úgy kell megtörténnie, hogy a felhasználó ne vegye észre
 - hívások, adatcsomagok átirányítása az új hely felé, manapság szolgáltatási minőségről (QoS) beszélnek, ezt kell biztosítani
 - rádiós erőforrásnak kell rendelkezésre állnia az új csatlakozási pontnál is
- a felhasználót meg kell találni a hálózatban, ha felé irányuló kommunikáció van

- további fejlődés és kutatási témák a rádiós, mobil kommunikációt érintő minden területen:
 - **rádiós átvitel:** többvivős rendszerek; okos antennák; összetett antennák; ultra-szélessávú (UWB) kommunikáció; csatornamegyenlítés
 - **hibamentes adatátvitel:** turbó kódolás; iteratív kódolók; együttes forrás- és csatornakódolók; többfelhasználós vevők
 - **intelligens csatornamegosztás:** QoS alapú és prioritásos ütemezők; elosztott, központi koordináció nélküli csatornamegosztás; MIMO antennák, térben osztott csatorna
 - **felhasználó mozgása:** helyzet követési, helyzet frissítési, helyzet előrejelzési eljárások

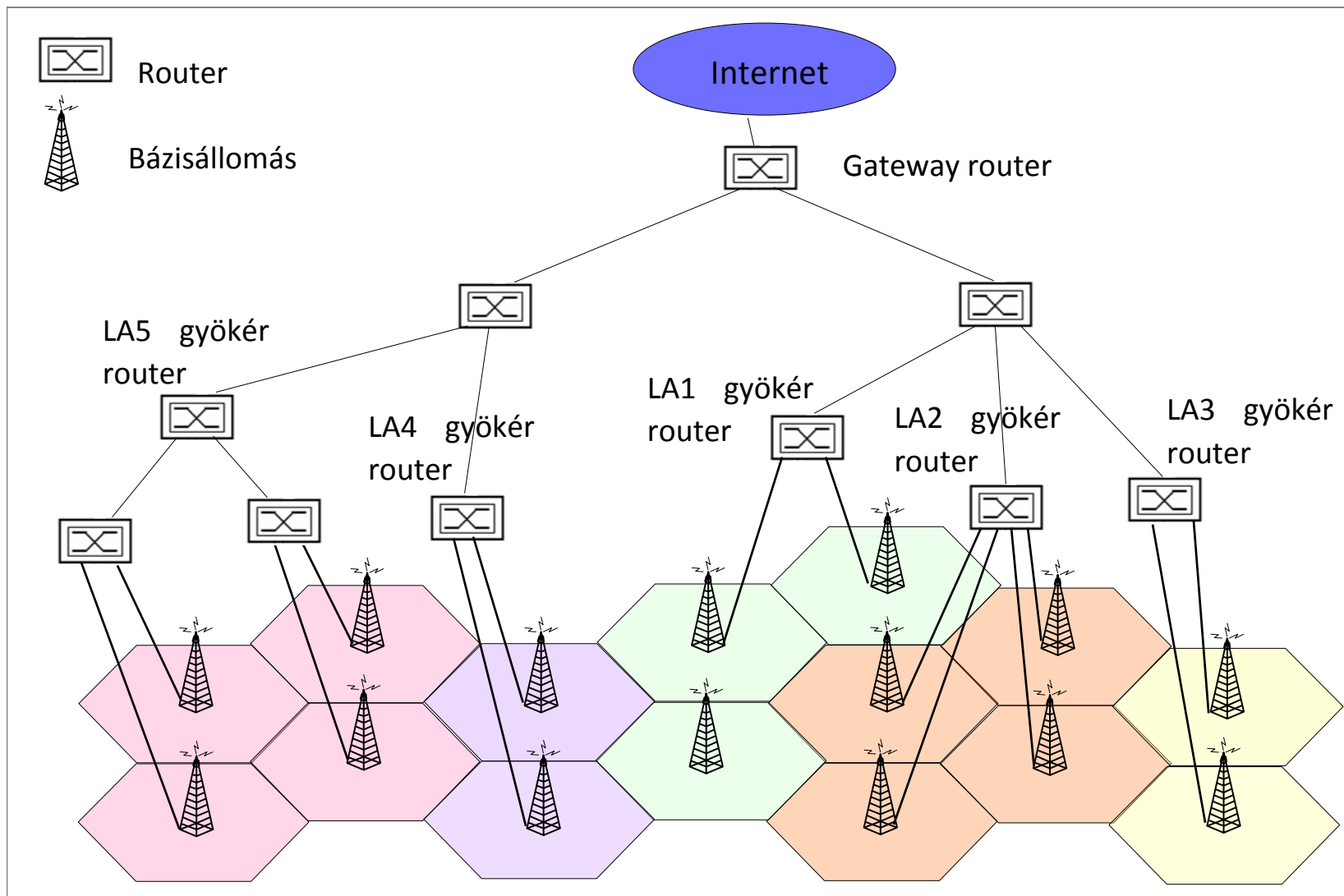
- **hálózati technológiák:** mobilitást kezelő hálózati protokollok, mobilitást támogató hálózati eszközök; önszervező mobil hálózatok
- **hálózati transzport:** rádiós átvitelhez igazított transzport protokollok, mobilitást, adatbiztonságot együtt nyújtó transzport protokollok
- **alkalmazások:** kis képernyőre, kis bitsebességre optimalizált hálózati alkalmazások; felhasználó helyétől függő alkalmazások, szolgáltatások

- két feladatra bontható:
 - helyzet-nyilvántartás (Location Management)
 - hívásátadás (Handover Management)



- a mobilhálózatok cellákból épülnek fel
 - a cella sugarát az antenna paraméterei, valamint a hullámterjedési feltételek határozzák meg
 - cella sugara a néhány száz méter és a néhány kilométer között változik
- országos szintű lefedettség → nagyon sok cellából álló hálózat kell
- a cellaváltáshoz különféle jelzés üzenetek küldése és fogadása
 - ha minden egyes cellaváltás során le kéne játszani a folyamatot → nagy mennyiségű üzenetváltás → hierarchikus hálózati felépítés

HELYZET-NYILVÁNTARTÁS II.



- a jelzésforgalom csökkentése érdekében ún. Location Area-kat alakítottak ki
 - több cella összevonása egy adminisztrációs egységben
 - ezek jelzésforgalmát együtt kezeljük
- az egységen belüli cellaváltások rejtve maradnak a felsőbb hierarchia szintek előtt
- csak akkor keletkezik többlet jelzésforgalom, ha az egységek határát lépi át a mobil terminál
- GSM: Location Area (LA); UMTS: Routing Area (RA); LTE: Tracking Area (TA)

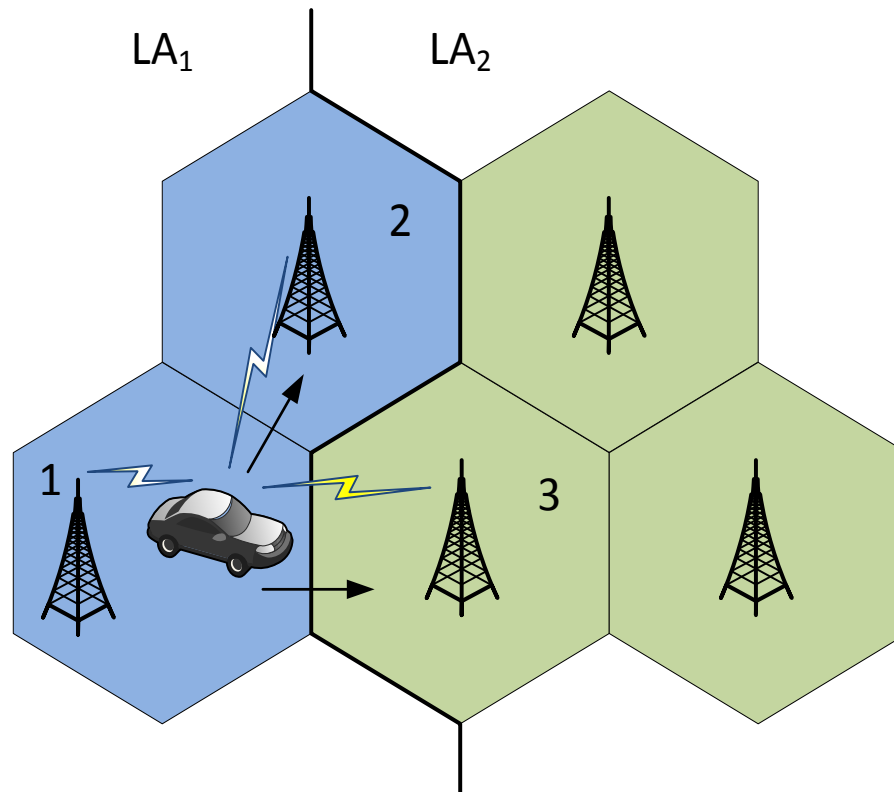
- A mobil készülék három állapotban lehet:
 - kikapcsolt,
 - aktív, valamint
 - alvó vagy tétlen (idle) állapotban.
- Kikapcsolt állapotban nem lehet a mobillal kommunikálni
 - Pozíció információk nem frissülnek
- Aktív állapotban a készülék be van kapcsolva, épp hívás közben, vagy adatkapcsolatban van
 - Pontos helyzet információk szükségesek
 - Jelzés csatornák figyelése
- Idle állapotban a készülék be van kapcsolva, de nincs aktív hívás, adatforgalom.
 - Periodikus helyzet frissítés
 - Jelzés csatornák figyelése → hívás érkezik felé, tud rá válaszolni

- egy mobil mozgása során beszélhetünk cellaváltásról, illetve bolyongásról (roaming)
 - cellaváltás eseté azonos mobil hálózaton belül mozgunk
 - cellaváltás
 - Location Area váltás
 - roaming esetén más mobil szolgáltató hálózatát használjuk (honos szolgáltatónak nincs lefedettsége)

- szükséges a mobil készülék helyzetének ismerete, hogy a bejövő (adat)hívások megtalálják
 - Keresés (Paging)
 - Helyzet-frissítés (Location Update)

- Pozíció információk több szintű tárolás
 1. honos szolgáltató előfizetői adatbázisa
(GSM esetén a HLR, LTE esetén a HSS)
 - előfizető személyes adatai
 - hitelesítési információk
 - igénybe vett szolgáltatások
 - pozíció információ → kisebb területi egység (GSM esetén MSC/VLR) azonosítója, ahol a mobil készülék legutoljára regisztrált
 2. ideiglenes adattároló
(pl. GSM esetén a VLR)
 - ideiglenes azonosító
 - pozíció információ → LA azonosítója (Location Area Identity (LAI)); meghatározza, mely cellákban kell keresni a mobilt

- adott LA-n belüli cellaváltás
 - a LAI kód változatlan → nem kell értesíteni a hálózatot
- különböző LA-k közötti cellaváltás
 - a LAI kód változik → értesíteni kell a hálózatot (helyzet frissítés)



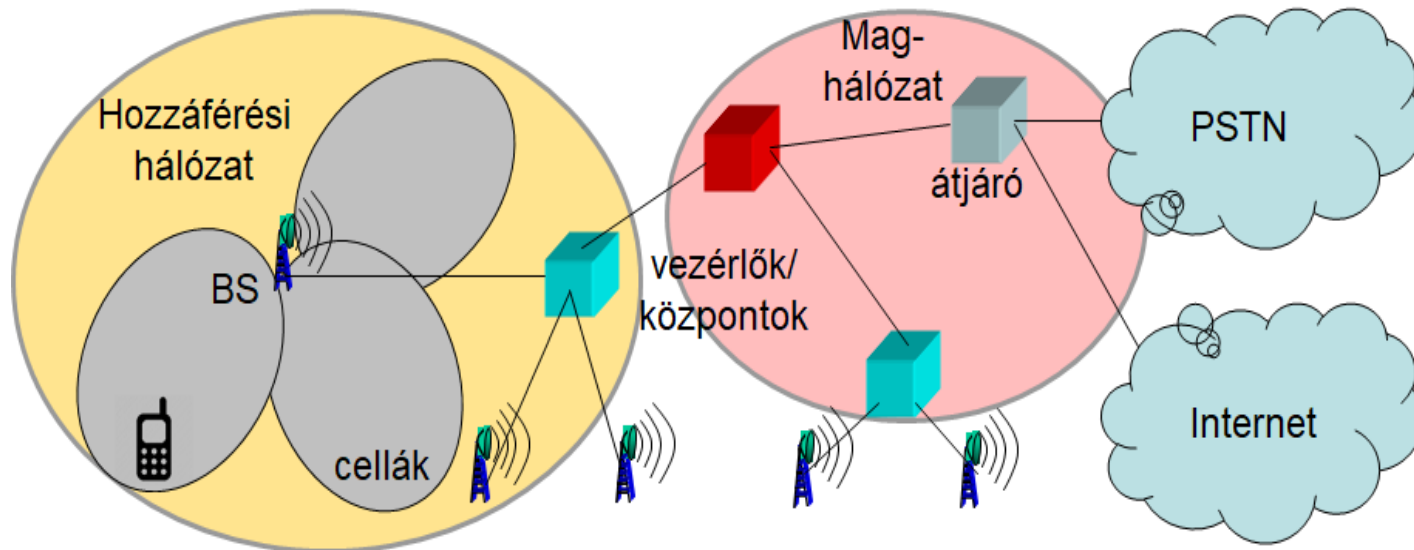
- a bázisállomás kiszolgálási területe véges → a cella határához közeledve romlik a rádiós csatorna minősége
- a folyamatos kommunikációhoz (csatorna megfelelő minőségű legyen) meg kell oldani a csatorna váltást, hívásátadást (handover, handoff)
- Kiváltó okok:
 - Cellaváltás
 - Átfedő cellák esetén egyik cella kapacitásának felszabadítása olyan felhasználó számára, aki csak az egyik cella lefedettségi területén mozog
 - Interferencia csökkentés
 - Gyorsan mozgó mobilok kiszolgálása (mikro, makro cella)

- Hívásátadás típusai:
 - inter-cell handover → cellaváltás
 - intra-cell handover → csatorna váltás interferencia miatt
- Működési mód szerinti csoportosítás:
 - Hard handover
 - Soft handover
 - Softer handover
- Technológia szerinti csoportosítás:
 - Horizontális handover
 - Vertikális handover

A CELLÁS HÁLÓZATOK ALAP FELÉPÍTÉSE

• elemek:

- mobil terminál
- **bázisállomás (BS)**: mobil terminálok ezzel kommunikálnak közvetlenül
- **cella**: a BS egy adó-vevője által lefedett terület (lefedett: a terminál képes a BS jelét venni, a BS képes a terminál jelét venni)
- **kapcsolóközpont**, vagy csomagtovábbító központ, többféle is lehet, hierarchikusan
- **átjárók**: a mobil hálózat kapcsolódási pontja külső hálózatok felé



- **makrocella:**

- nagy terület lefedésére (1-35km)
- ritkán lakott területek, gyorsan mozgó felhasználók
- külvárosok, kisvárosok, falvak és nem lakott területek lefedése
- kétszintű hálózatok esetén a felső szint biztosítása
- nagy adóteljesítmények (1-20W)

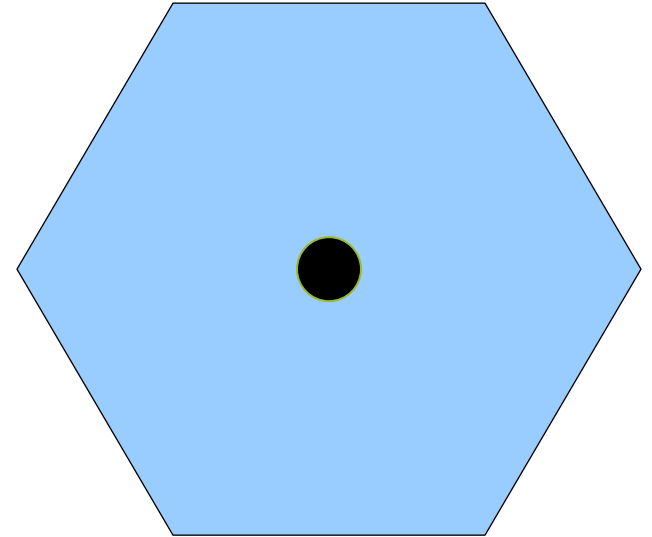
- **mikrocella:**

- kis területet lefedése (0,2-1 km)
- sok felhasználó, lassabb mobilok (városok, külvárosok városközpontja)
- a bázisállomás antennája épületek tetőszintje alatt
- kis teljesítmény (0,01-5 W), nagy kapacitás

- **pikocella:**
 - főként beltéri lefedésre (<200 m), ill. nagyon nagy forgalmú területek lefedésére (nagy kapacitás igény)
 - kis teljesítmény (<100 mW), antennák beltérben
- **femtocella:**
 - 10 méteres nagyságrendű cellasugár
 - lakásokon belüli lefedettség javítására
 - vezetékes Internet kapcsolattal csatlakozik a hálózathoz
- (small-cells: a piko- és femtocellák általános megnevezése)

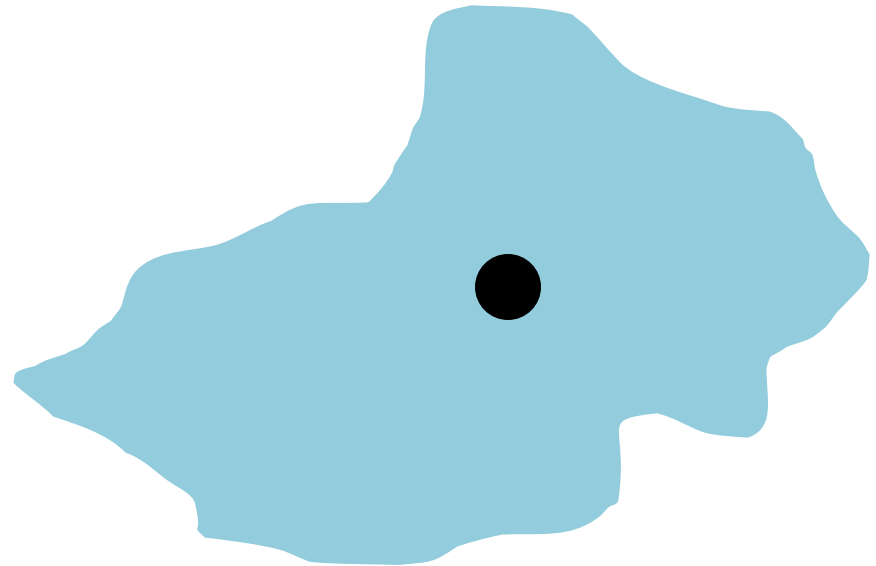
- **hatszögletű cella:**

- gyakorlatban nincs ilyen
- hatszögekkel lefedhető a sík
- jól közelíti az omni cellákat
- közelítő számításokhoz
- elméleti modellekhez
- jól szektorizálható, három szektor
- K faktor meghatározásához (frekvencia-újrafelhasználás)
- városokban



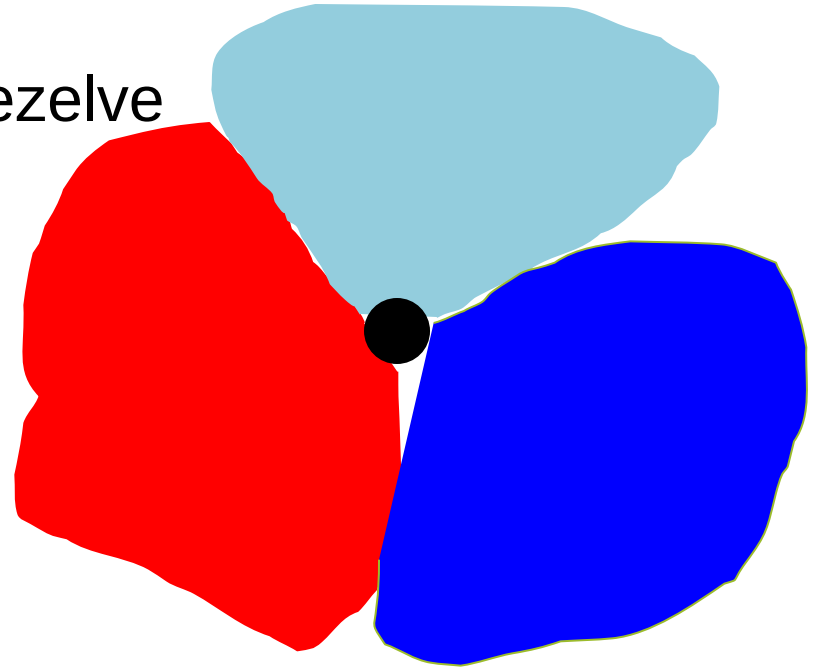
- **omni cella:**

- körsugárzó antenna
- elvileg kör alakú (a Hortobágyon lehet)
- gyakorlatban a terep miatt szabálytalan
- főleg rural területen



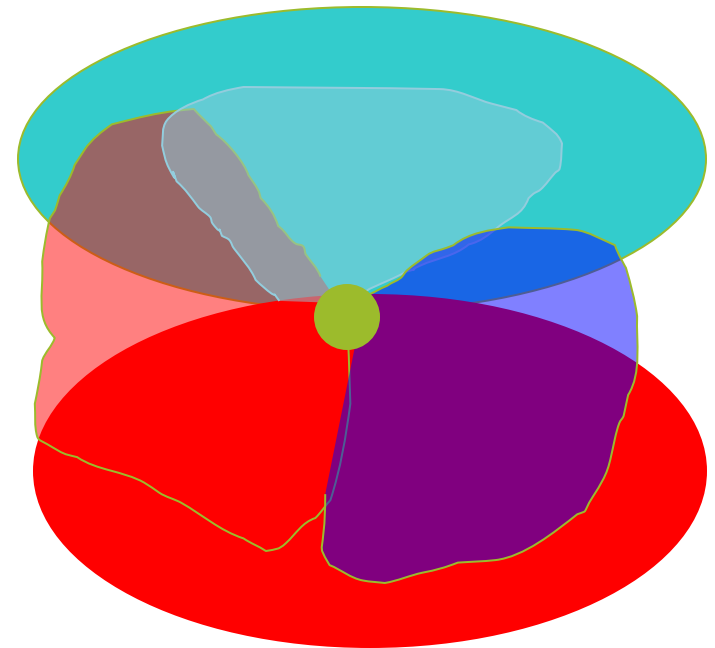
- **szektorantennák:**

- egy bázisállomással több cella kialakítására
- létező cellák feldarabolására
- gyakorlatban a terep miatt szabálytalan
- 60, 90, 120 fok
- antennánként külön-külön kezelve
- különböző méretű szektorok

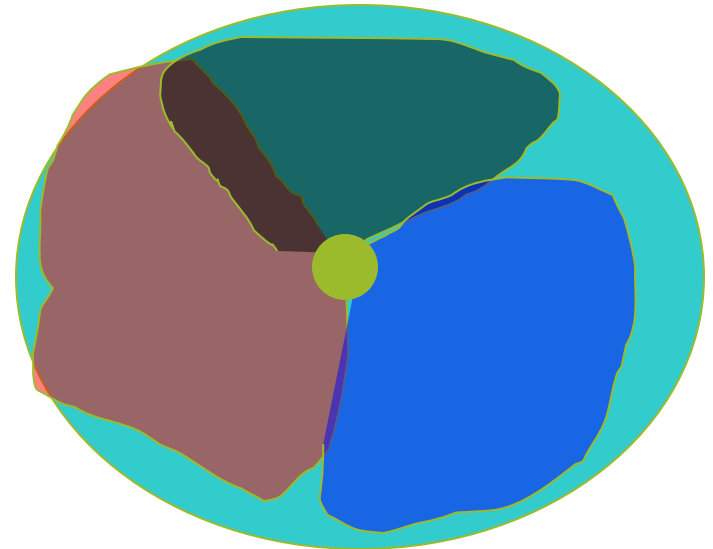


- **hierarchikus cellák:**

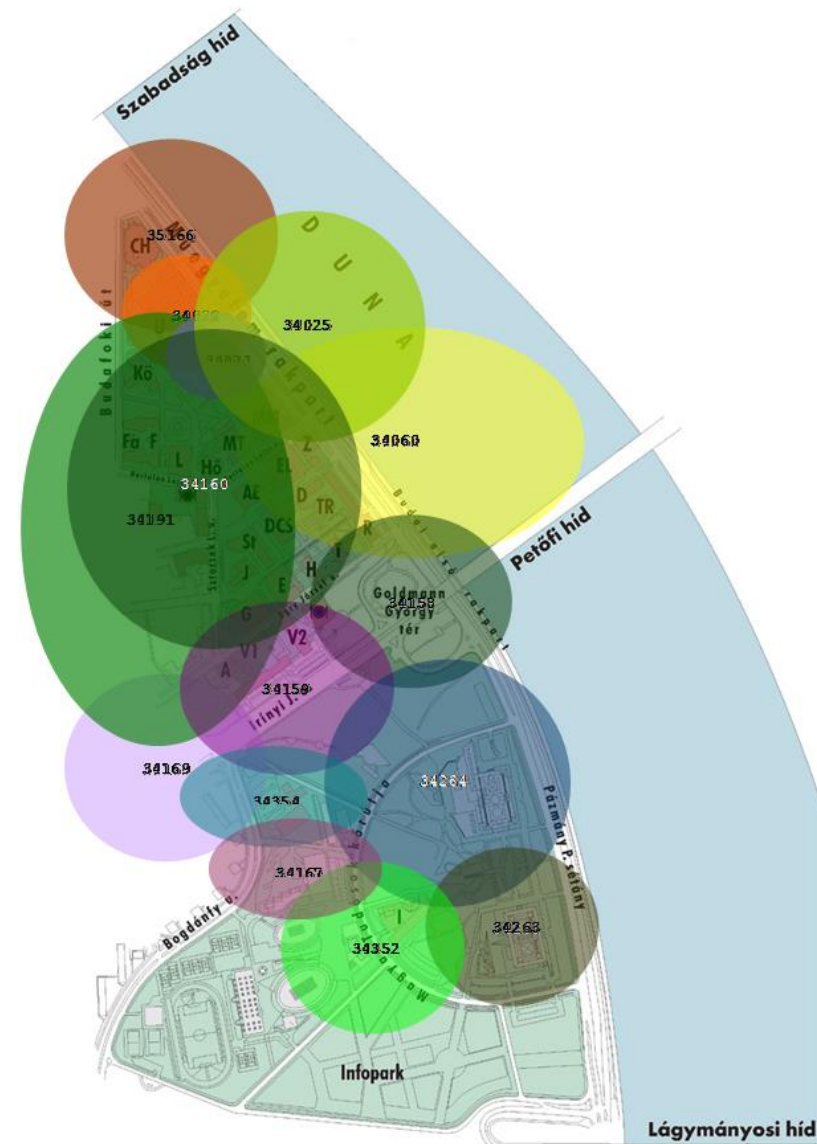
- nagy forgalmú területek több cellával való lefedése
- a cellák természetesen más frekvenciákat használnak
- egy bázisállomás több cellát is „működtet”



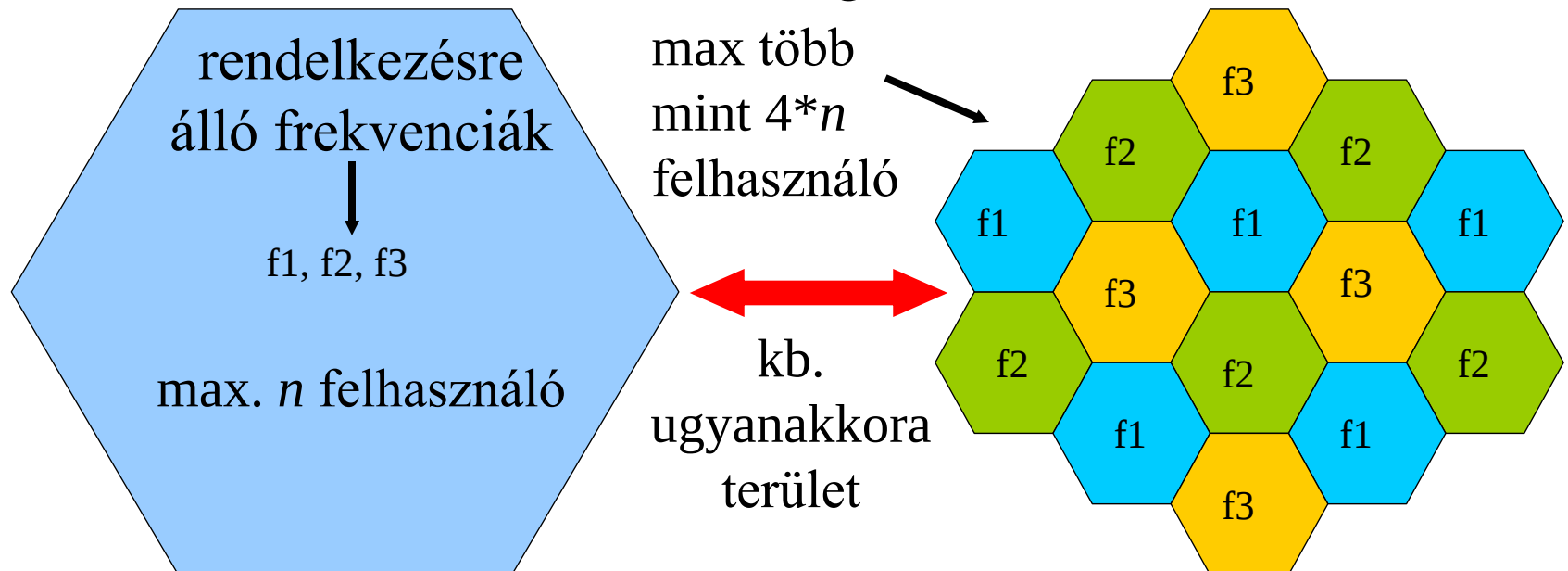
- **hierarchikus cellák, esernyő cella:**
 - egy nagy cella több kisebbet is lefed
 - különösen mikro-, pikocellás környezetben
 - a gyorsan mozgó felhasználók kiszolgálására
 - a gyakori handoverből eredő problémák kiküszöbölésére



- A BME területének rádiócella lefedettsége és a cellák elhelyezkedése



- **frekvencia újrafelhasználás:** a teljes rendelkezésre álló frekvenciasávokból csak néhányat használnak egy cellában
- ugyanazokat a frekvenciákat ismét használják egy lehető legtávolabbi cellában
- sokkal több felhasználó kiszolgálható





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

Jelek alapsávi leírása, moduláció

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
2. gyakorlat

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 09. 24.





Decibel alapok

- A **decibel (dB)** két mennyiség arányának **logaritmikus mértéke**, amit széles körben használnak az akusztika, a fizika és az elektronika területén. (Wikipédia)

- Eredetileg a teljesítmény vagy a térerősség arányaként használták, de mára általánosan elterjedt a mérnöki gyakorlatban. A decibelt széles körben használják a hang erősségének mérésére. A decibel mértékegysége és dimenziója egy, hasonlóan a százalékhoz.
- Alkalmazásának több előnye van: szélsőségesen nagy és kicsi értékek összehasonlítását teszi lehetővé, egyszerű összeadásra és kivonásra egyszerűsíti le az arányokkal való műveleteket, valamint a decibel logaritmikus skálája megfelel az emberi halló- és látószerv működésének.

- A telekommunikáció területén a decibel a **jel/zaj viszony** mérésénél, illetve egyéb, rádiós méréseknél a legelterjedtebb mérőszám.
- A decibel főleg az átvitt jelek **erősítésének**, illetve **gyengülésének** (veszteség) mérésénél játszik szerepet, az átvitel típusától függetlenül (tér, hullám, koaxiális kábel, optikai szál stb.).

- Elektromos teljesítmény
 - dBm vagy dBmW
 - dB(1 mW) – a teljesítmény mértéke 1 milliwattra vonatkoztatva
 - dBW
 - dB(1 W) – mint a dBm, de a vonatkoztatási szint 1 watt

- Kisugárzott (rádió) teljesítmény
 - dBm
 - dB (mW) – teljesítmény, 1 milliwattra vonatkoztatva
 - azt jelenti, hogy hány dB-lel nagyobb vagy kisebb a megadott mennyiségnél.

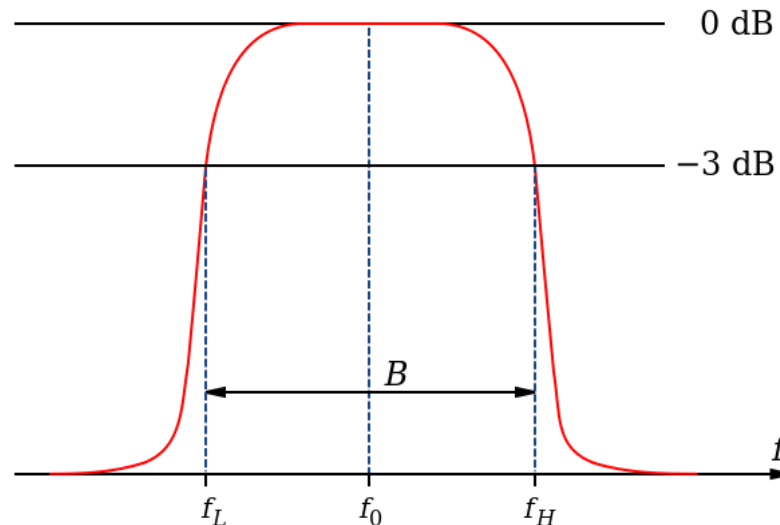
 - Néhány példa:
 - 3 dBm jelentése: 3 dB-lel nagyobb, mint 1 mW.
 - -6 dBm jelentése: 6 dB-lel kisebb, mint 1 mW.
 - 0 dBm jelentése: nincs eltérés 1 mW-tól, más szavakkal: 0 dBm pontosan 1 mW.

- $P_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P[W]}{P_{ref}[W]} \right)$
- $P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P[W]}{0,001} \right)$

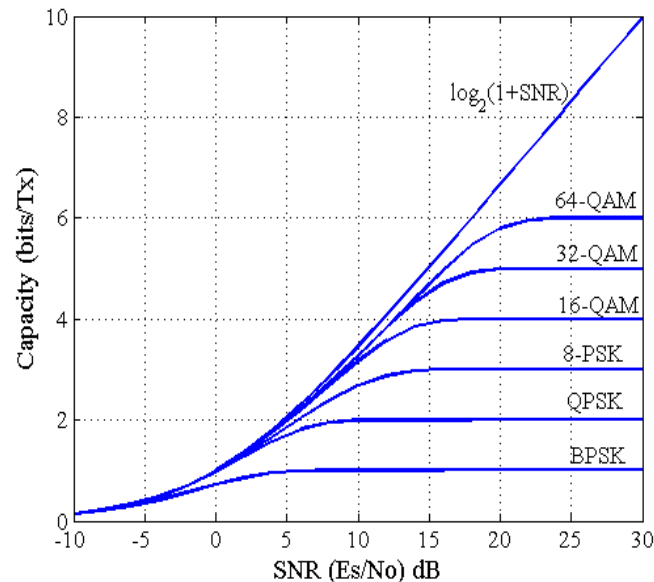


Rádiós alapok

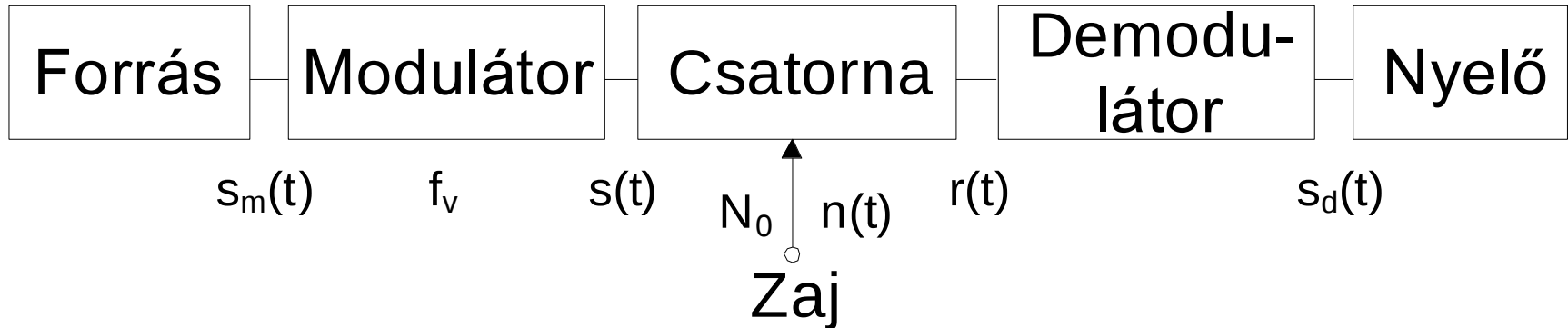
- **jel:** voltaképp egy energiaváltozás $\rightarrow$ információt hordoz
 - analóg: folytonos fizikai mennyiség reprezentálja
 - digitális: diszkrét jel számokkal kódolt megjelenési formája
- **sávszélesség:** az a frekvenciatartomány, amelyben az áramkör használható
 - az $f_H - f_L$ különbséggel meghatározzuk
 - alsó (f_L) és felső (f_H) határfrekvencia



- csatorna maximális kapacitása:
 - Shannon-Hartley formula írja le: $C = B \log_2(1 + S / N)$
 - C: a csatorna kapacitása,
 - B: a csatorna sávszélessége és
 - S/N vagy SNR: a hasznos jel-zaj teljesítmény hányadosa wattban
 - Modulációs technikák szemléltetése:



- Shannon-féle kommunikációs lánc:



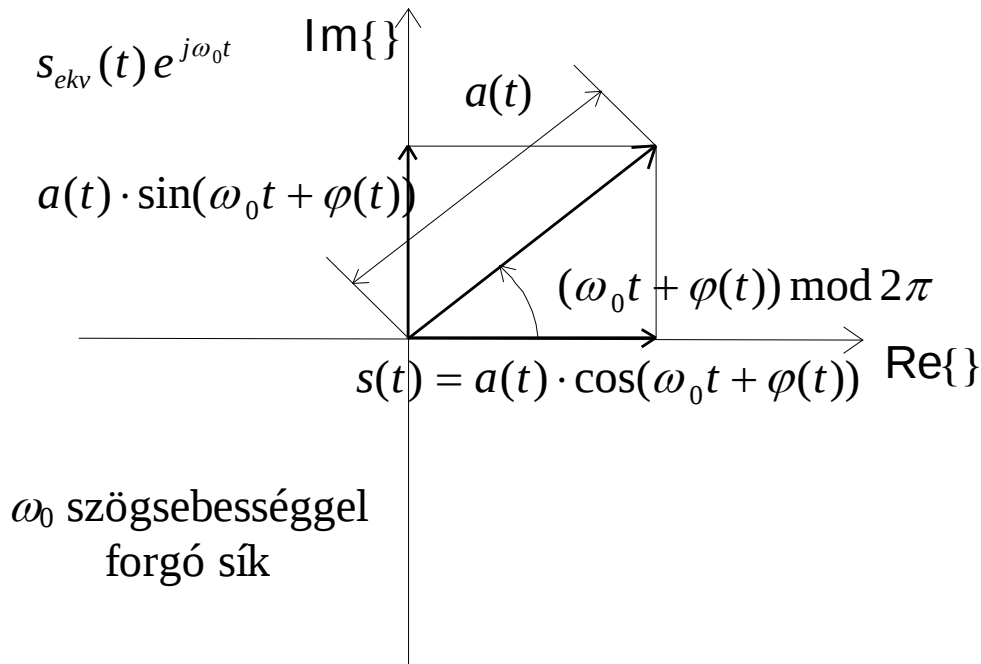
- $s_m(t)$: a forrás által küldött jel
- $s(t)$: modulált jel $\rightarrow$ vivő
- $r(t)$: zajjal terhelt jel
- $s_d(t)$: demodulált jel
- $N_0, n(t)$: Gauss zaj, interferencia
- $s_d(t) \neq s_m(t)$: hibás vétel $\rightarrow$ hibajavítás szükséges

- A szinuszos jel általánosan: $s(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$
- Átalakítva: $s(t) = s_I(t) \cos(\omega_0 t) - s_Q(t) \sin(\omega_0 t)$
 - ahol $s_I(t) = a(t) \cos(\varphi(t))$ a fázisban levő komponens,
 $s_Q(t) = a(t) \sin(\varphi(t))$ pedig a kvadratúra komponens.
- Mivel $s_I(t)$ és $s_Q(t)$ tipikusan lassan változó (alapsávi) jelek a vivőhöz képest, ezért a jel komplex alapsávi ekvivalensének definíciója:

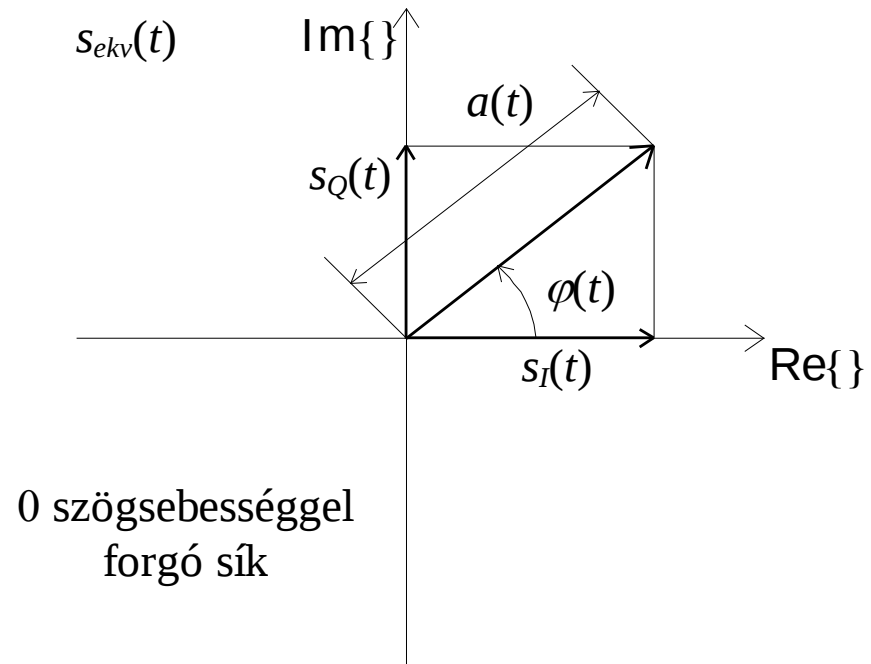
$$s_{ekv}(t) = s_I(t) + j s_Q(t)$$

- Haszna: nem kell a vivővel törődni, egyszerűbb, általános összefüggések
- másként: $s(t) = \operatorname{Re}\{ s_{ekv}(t) e^{j\omega_0 t} \}$

- Elnevezés: a jel komplex előburkolója: $s_{ekv}(t)e^{j\omega_0 t}$
- ugye: $s_{ekv}(t) = s_I(t) + js_Q(t) = a(t) \cdot e^{j\varphi(t)}$



Vivőfrekvenciás jelábrázolás



Alapsávi jelábrázolás



Modulációs eljárások

- A moduláció különféle eljárások csoportja, mellyel biztosítják, hogy egy jellemzően szinuszos (vagy koszinuszos) jel képes legyen információ hordozására.
- A moduláció célja nem más, mint a hasznos jel átvitele a rádiós csatornán, az adott frekvenciasávban a lehető legkisebb veszteség, szóródás mellett.
- Két típus:
 - Analóg
 - Digitális
 - lineáris digitális modulációk (pl. ASK, QAM, QPSK) és
 - nemlineáris digitális modulációk (pl. frekvencia moduláció).

- Analóg modulációs eljárások:

- A vivő jel matematikai leírása: $s(t) = a(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_v t + \varphi)$
ahol $a(t)$ a jel amplitúdója, f_v a vivőfrekvencia és φ a fázis.

- **amplitúdó moduláció** (AM): $s(t) = u(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 t)$

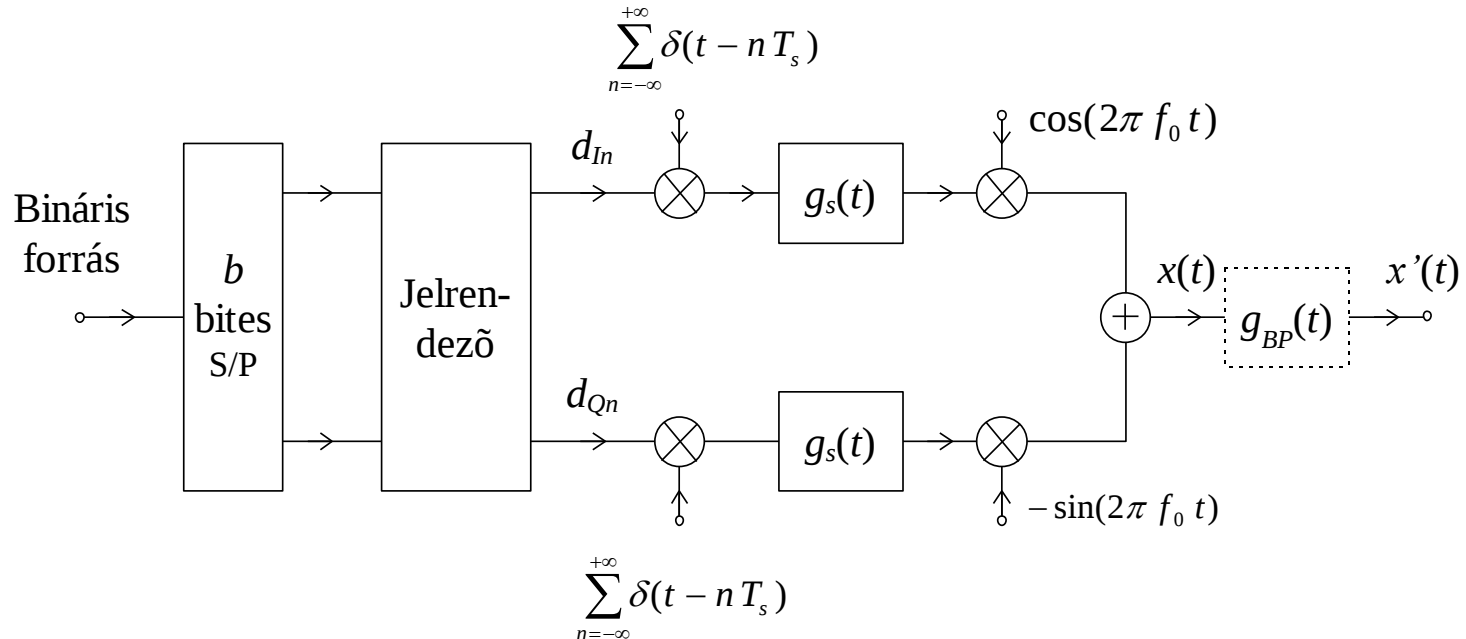
- **frekvencia moduláció** (FM): $s(t) = \cos\left(2\pi f_0 t + \int_0^t u(\tau) d\tau\right)$

- **fázis moduláció** (PM): $s(t) = \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t + u(t))$

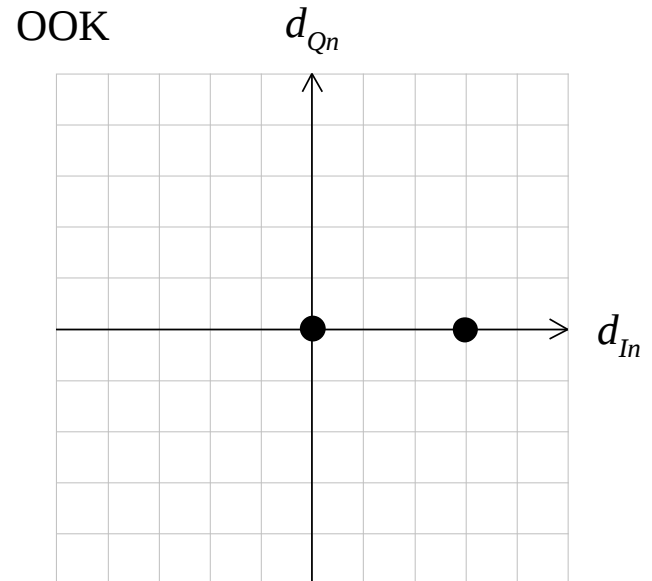
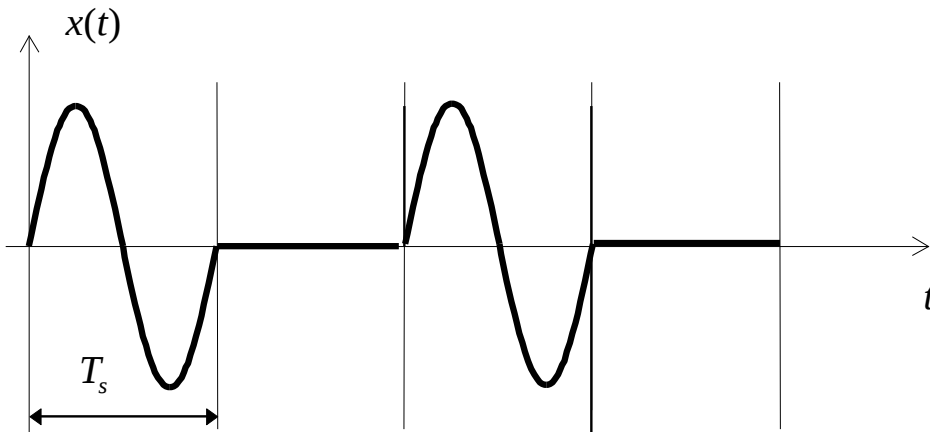
- ahol $u(t)$ az információt hordozó jel

- a vivő amplitúdója, frekvenciája vagy fázisa hordozza az információt

- a bináris forrásból soros/párhuzamos átalakítással b bites szavak állnak elő
- jelrendező: a bináris szavaknak megfelelő d_I és d_Q értékeket állít elő
- $g_s(t)$: elemi jelalak szűrő, Dirac impulzusokat ráadva a kívánt jelalakot érjük el (a gyakorlatban gyakran nem szűrővel, hanem tárolt jelalakokkal dolgoznak)
- ezeket ültetjük a vivőre (fázisban és kvadrátúrában levő komponens)
- az összegzett jelen sávszűrést végrehajtva kész a kimenő jel

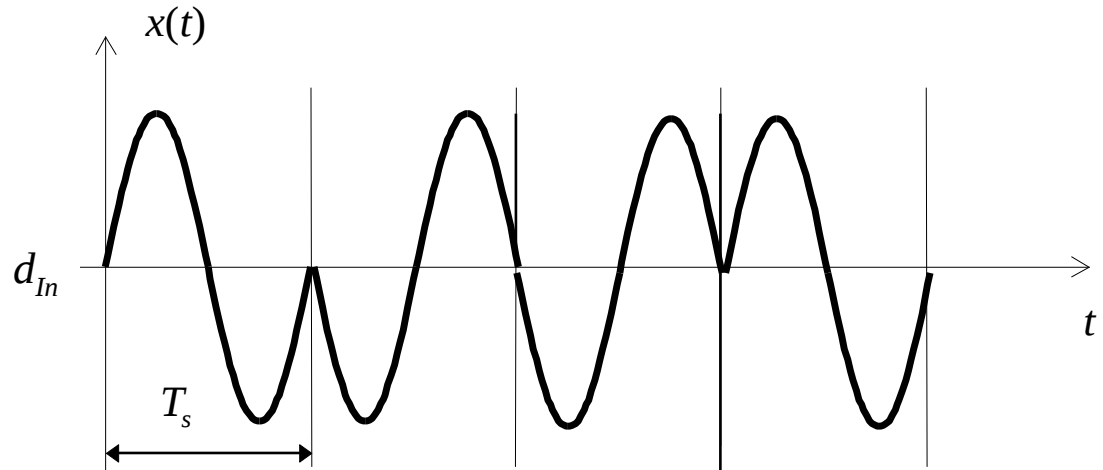
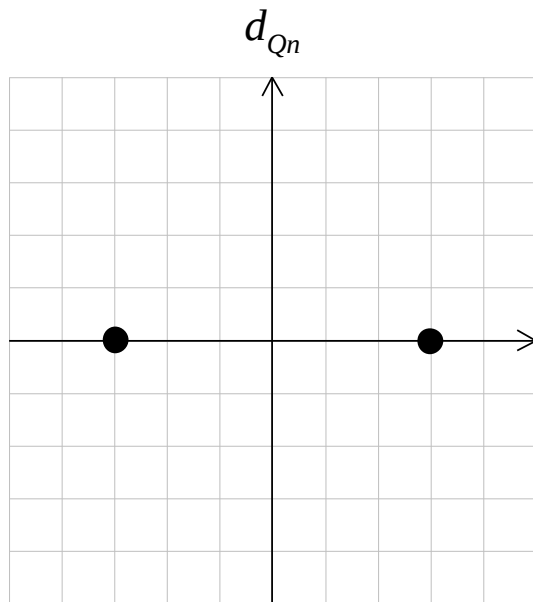


- a d_I és d_Q értékek lehetséges értékeit síkban ábrázolva az ún. konstellációs diagramot kapjuk, ez gyakorlatilag a vivő fázisát és amplitúdóját mutatja
- elemi jel: mint látható, ennek megfelelően fog változni az I és Q összetevők amplitúdója, így az eredeti jel fázisa is.
 - Legegyszerűbb esetben négyszögjel, a simább átmenet és így kisebb sávzélesség érdekében valamilyen lekerekített jeleket szoktak használni.
- **Digitális modulációk fajtái:**
- **On-OFF keying:** $b=1$, d_Q mindig nulla, d_I egy vagy nulla, az elemi jelet vagy átvisszük, vagy nem
- jelalak, konstellációs diagram:



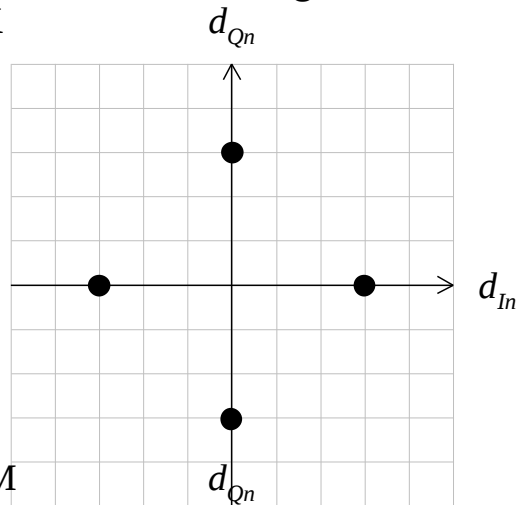
- Lineáris modulációs rendszerek (ASK, PSK, QPSK, MPSK, QAM)
- Amplitúdó billentyűzés (**Amplitude Shift Keying** – ASK),
bináris fázisbillentyűzés (**Binary Phase Shift Keying** – BPSK)
- $b=1$, d_Q mindig nulla, d_I egy vagy mínusz egy, az elemi jel, vagy inverze modulálja a koszinuszt
- konstellációs diagram, időfüggvény:

ASK,
BPSK

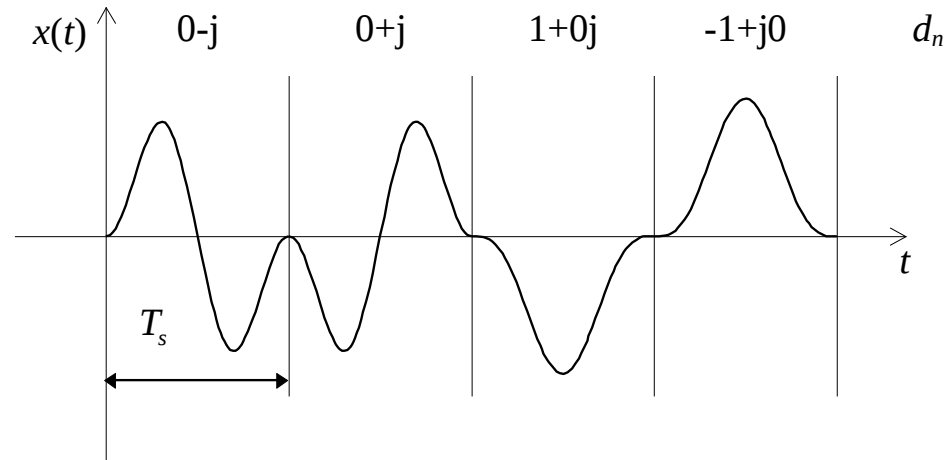
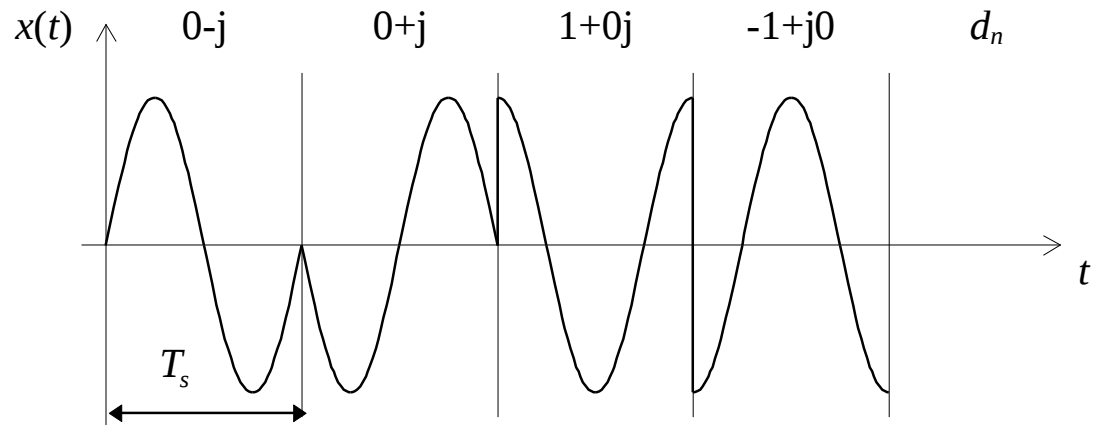
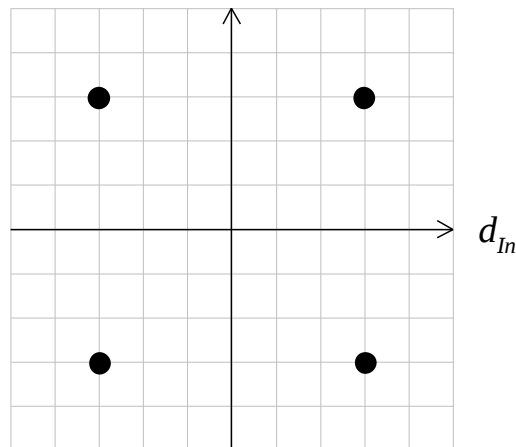


- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 4-QAM (4 Quadrature Amplitude Modulation), vizsgán: d_I és d_Q értékei
- konstellációs diagramok és időfüggvények:

QPSK

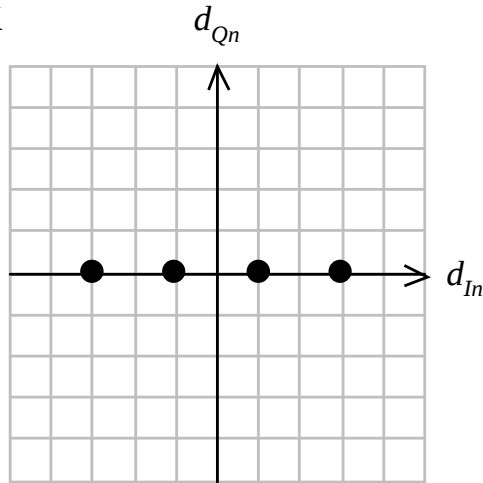


4QAM

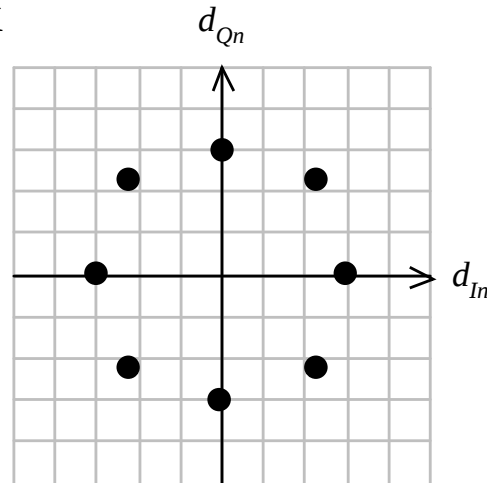


- 4 ASK, a konstellációs diagram:

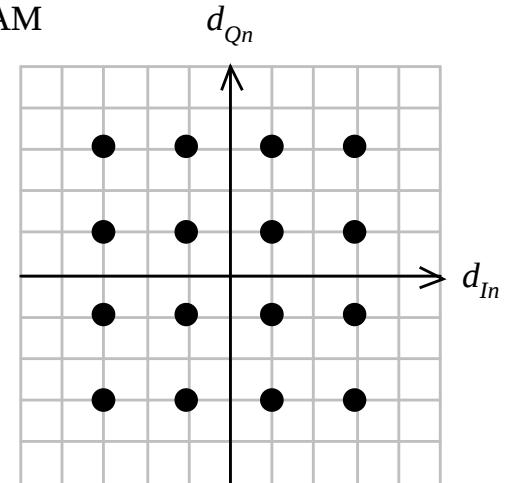
4ASK



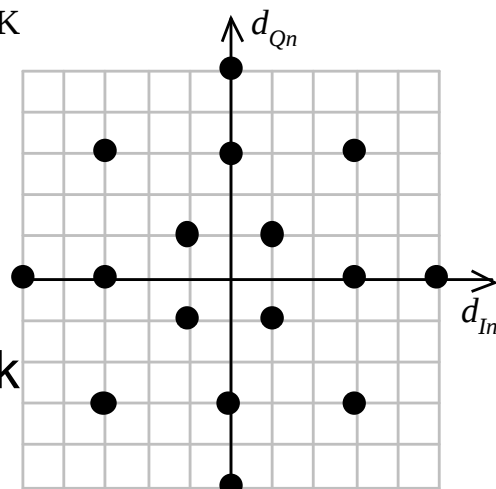
8PSK



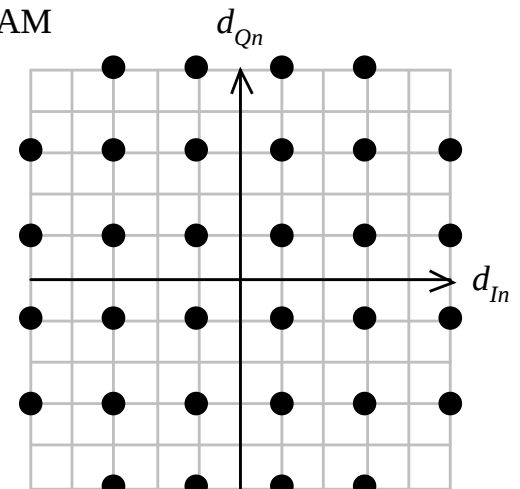
16QAM



16PSK

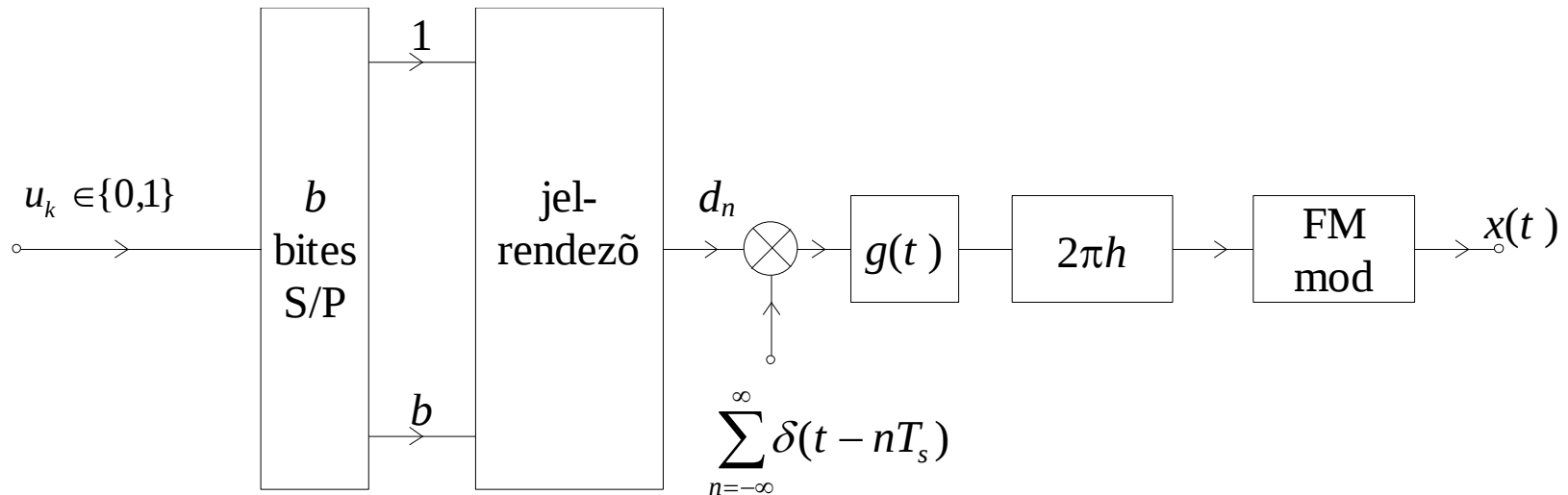


32QAM



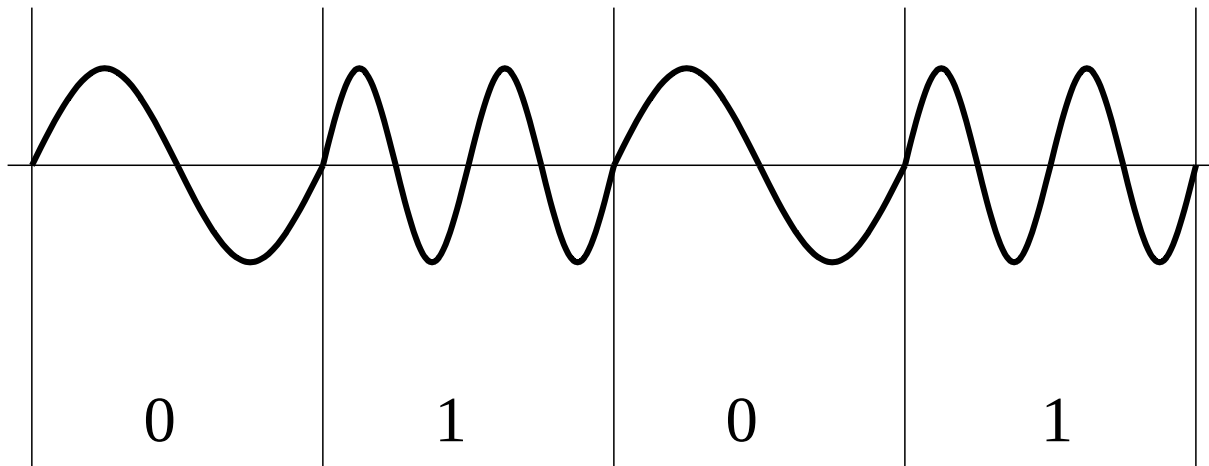
- használt még: 8PSK ($b=3$)
- hasonlóan: 16, 32, 64 QAM
- Lineáris végfokot igényelnek

- nem lineáris moduláció (frekvencia moduláció): a modulált jel fázisa folytonos függvénye az időnek



- h : fázisforgatásra jellemző (2π hányad részével fordul a fázis)
- d_n sorozat: értékei a $\{-(M-1) \dots -1, +1, \dots, M-1\}$ tartományból, $M=2^b$ féle frekvencia érték hordozza az információt
- elemi jel: általában valamilyen lekerekített (pl. emelt koszinusz, Gauss), hogy a frekvencia ne hirtelen változzon

- példa: FSK (**F**requency **S**hift **K**eying)
- időfüggvény:





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK



Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. gyakorlat példák

2020. október 8.

1. Számítsa ki a GSM cellák maximális méretét km-ben az adás siettetés (Timing Advance – TA) alapján!

fénysebesség: $v_{\text{fény}} = 3 \cdot 10^8$ m/s; GMSK moduláció sebessége GSM-ben: 270,833 kbps

Access burst:	T8	Synchronization sequence 41	Coded Data 36	T3	Guard Period 68.25
---------------	----	--------------------------------	------------------	----	-----------------------

A mobilok különböző helyzetéből fakadó terjedési késleltetés interferenciát okozhat a BS-nál, ezért találták ki az adás siettetés mechanizmusát.

Az access burst védő ideje alapján határozható meg az a távolság, amit a rendszer még tolerál. Más szóval, ha kiszámoljuk, hogy a 68,25 bit megtételéhez mennyi időre van szükség a GSM rendszerben, akkor megkapjuk a mobil terminál maximális megengedett távolság kétszeresét egy BS-tól.

Megoldás:

GMSK bitsebessége: 270,833 kbps $\rightarrow$ 1 bit átviteléhez 3,69 us szükséges $\rightarrow$ 68,25 bit átviteléhez $3,69 \cdot 68,25 = 252$ us szükséges.

Mekkora távolságot tesz meg a rádió hullám 252 us alatt? $\rightarrow$ fénysebességet felhasználva: 75,6 km
Ezt még meg kell felelni, mert az időszinkron (TDMA) miatt oda-vissza kell megtennie a jelnek az utat. $\rightarrow$ 37,8 km a védő idő alapján a maximális cellasugár GSM-ben

(Gyakorlati okok miatt 35 km a szabványosított maximális cellasugár.)

2. Számítsa ki egy LTE cella lefedettségi sugarát (méterben), környékét magas csillapításúnak tekintjük. A rádiós csatorna terjedési modelljét:

a) SUI (Stanford University Interim) modellel jellemezzük,

b) a távolság 4. hatványával arányos a csillapítás!

Cellahatár: $P_{\text{rec}} = -100$ dBm; Bázisállomás adóteljesítménye: $P_{\text{eNB}} = 20$ W;

Vivőfrekvencia: $f = 2$ GHz, Antenna magassága: $h_b = 40$ m; Referencia távolság $d_0 = 100$ m

SUI modell: $PL_{\text{SUI}} = 20 \cdot \log_{10}(4d_0 \pi / \lambda) + 10 \cdot (a - b \cdot h_b + c/h_b) \cdot \log_{10}(d/d_0)$

távolság 4. hatványával arányos csillapítás: $PL = d^4$

Modell paraméter	Magas csillapítású terep	Közepes csillapítású terep	Alacsony csillapítású terep
a	4,6	4,0	3,6
b (m ⁻¹)	0,0075	0,0065	0,005
c (m)	12,6	17,1	20

Megoldás:

a) fénysebesség: $v_{\text{fény}} = 3 \cdot 10^8$ m/s; $f = 2$ GHz = $2 \cdot 10^9$ Hz; $\lambda = v_{\text{fény}}/f$

$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log_{10}(P[\text{mW}]); P[\text{mW}] = 10 \cdot \exp(P[\text{dBm}]/10);$

$P_{\text{rec}}[\text{dBm}] = P_{\text{eNB}}[\text{dBm}] - PL[\text{dB}]; P_{\text{rec}}[\text{W}] = P_{\text{eNB}}[\text{W}]/PL[] = P_{\text{eNB}}[\text{W}] \cdot PL[]^{-1}$

$P_{\text{eNB}} = 20$ W = 43 dBm

$PL_{\text{SUI}} = 43$ dBm - (-100 dBm) = 143 dB

Behelyettesítve: $143 \text{ dB} = 20 \cdot \log_{10}(4 \cdot \pi \cdot 100 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) + 10 \cdot (4,6 - 0,0075 \text{ m}^{-1} \cdot 40 \text{ m} + 12,6 \text{ m} / 40 \text{ m}) \cdot \log_{10}(d/100 \text{ m})$

A feladat szerint d a keresett. d -re kifejezve és kiszámítva a megoldás: $d \approx 2502,6$ m.

b) Behelyettesítve: $10 \exp(-100 \text{ dBm}/10) = 2 \cdot 10^4 \text{ mW} / d^4$

$d = (2 \cdot 10^4 \text{ mW} / 10^{-10} \text{ mW})^{1/4} \approx 3760$ m

Vagy: $PL = 43 \text{ dBm} - (-100 \text{ dBm}) = 143 \text{ dB} \rightarrow 10 \exp(143 \text{ dBm}/10) = d^4 \rightarrow$

$(10^{14,3})^{1/4} = 10^{3,575} = d \approx 3758,4$ m

3. Számítsa ki az elérhető (elvi) átviteli sebességet a t , $t+1\text{sec}$, $t+2\text{sec}$ időpillanatokban, ha egy két cellából álló rendszerben az egyik cellától egyenesen a másik cella felé haladunk 72 km/h sebességgel! t időpillanatban a közelebbi bázisállomástól 300, a távolabbtól 600 méterre vagyunk. Mindkét bázisállomás adóteljesítménye 20 W és működési sávszélességük 20 MHz. A közelebbi bázisállomás 10 felhasználói készüléket szolgál ki egyszerre. Hogyan változik az átviteli sebesség? (A csatorna csillapítása a távolság 4. hatványával arányos.)

$$v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}; P_{\text{eNB}} = 20 \text{ W}; BW = 20 \text{ MHz}; n_{\text{UE}} = 10; d_1 = 300 \text{ m}; d_2 = 600 \text{ m}$$

Megoldás:

$$PL = d^4$$

$$SIR = S [\text{W}]/I [\text{W}] \text{ (hasznos vett jel/vett interferencia)} = P_{\text{eNB}} \cdot d_1^{-4} / P_{\text{eNB}} \cdot d_2^{-4}$$

Az interferencia számításánál a legrosszabb esetet feltételezzük, azaz, hogy a távolabbi bázisállomás minden időpillanatban maximális adóteljesítménnyel sugároz az egész rendelkezésére álló sávszélességén.

$$C [\text{bps}] = BW [\text{Hz}] \cdot \log_2(1 + SIR) \text{ (az egész cella kapacitása)} \rightarrow$$

$$1 \text{ felhasználó kapacitása/átviteli sebessége: } C / n_{\text{UE}}$$

t időpillanatban:

$$C = 20\text{MHz}/10 \cdot \log_2(1 + 20 \cdot 300^{-4} / 20 \cdot 600^{-4}) \approx 8,1749 \text{ Mbps}$$

$t+1\text{sec}$ múlva:

$$C = 20\text{MHz}/10 \cdot \log_2(1 + 320^{-4} / 580^{-4}) \approx 7,1195 \text{ Mbps}$$

$t+2\text{sec}$ múlva:

$$C = 20\text{MHz}/10 \cdot \log_2(1 + 340^{-4} / 560^{-4}) \approx 6,1268 \text{ Mbps}$$

Tehát a vizsgált időszakban másodpercenként kb. 1 Mbps-mal csökkent az elérhető adatátviteli sebesség.



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

A rádiós csatorna jellemzése

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
3. gyakorlat

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 10. 08.

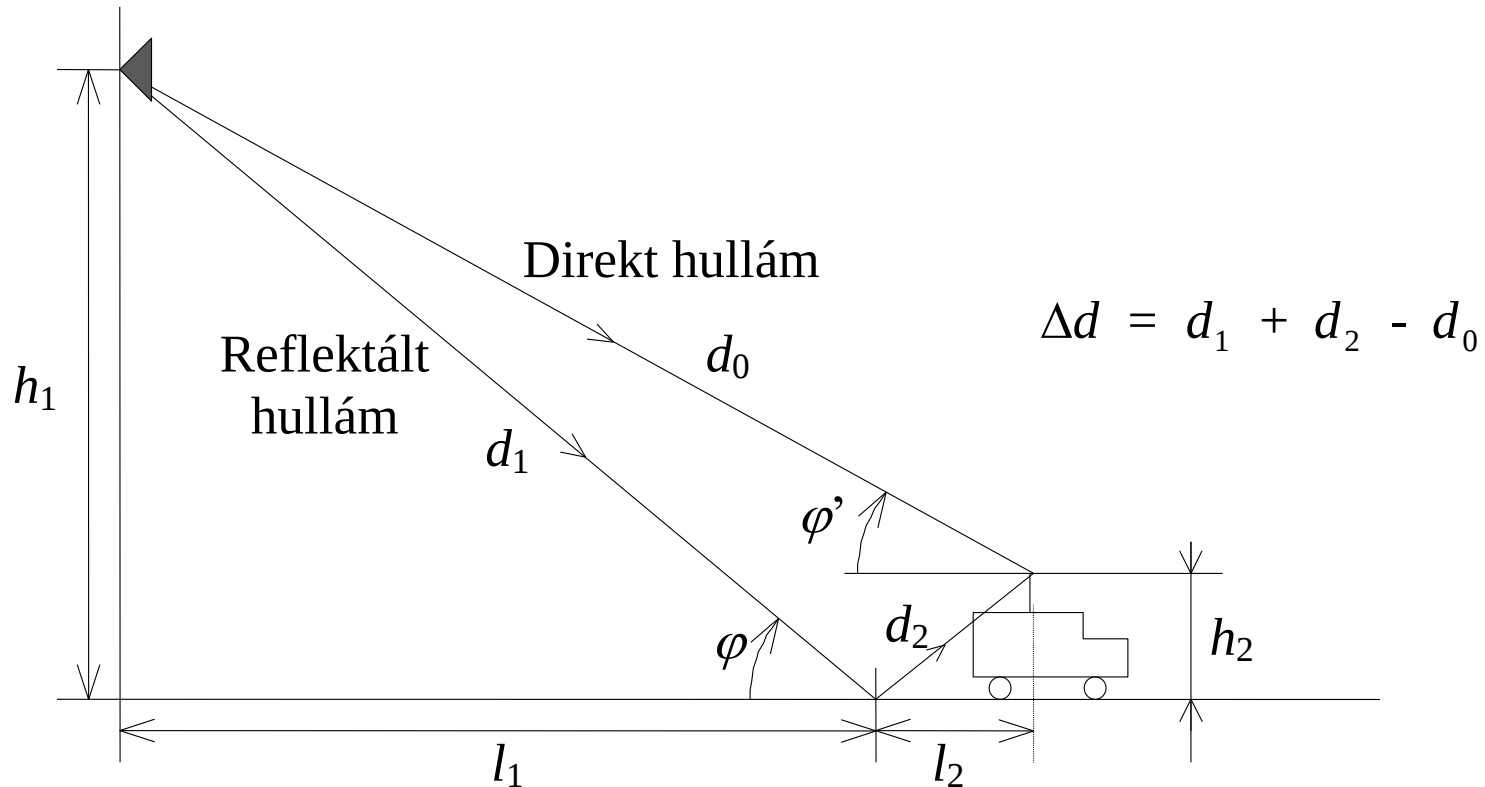


- **Csillapítás:** tereptől, időjárástól, távolságtól, frekvenciától, antenna magasságoktól stb. függ
- **Fading:** véletlen ingadozás a vett jel teljesítményében (amplitúdójában), sztochasztikus modellek
- **Zaj:** fehér zaj (Gauss): fehér: az adott sávban konstans teljesítménysűrűségű
- **Interferencia:** azonos csatornás, szomszédos csatornás, rendszerek közti
- **Cél:** bithibaarány adott határ alatt maradjon, tipikusan 0,001 alatt

- **empirikus modellek:**
 - nagy számú mérés alapján vázolt egyenletek, görbék alapján;
 - gyors, könnyen számolható, nem túl pontos
- **determinisztikus modellek:**
 - az EM hullámok terjedését, diffrakcióját stb. számoló modellek;
 - szükség van a környezet pontos ismeretére;
 - nagyon nagy számítási kapacitást igényelnek
- **szemi-determinisztikus modellek:**
 - determinisztikus modellek módosításával, egyszerűsítésével, mérésekhez „hangolásával” készülnek

- **makrocella:**
 - kétutas terjedési modell (determinisztikus), kettős meredekségű modell
 - Okumura-Hata modell (empirikus)
 - módosított Okumura-Hata
- **mikrocella:**
 - kettős meredekségű modell (empirikus)
 - Walfisch-Ikegami modell (empirikus)
- **Walfisch-Ikegami:**
 - városi területeken használt (utcák lefedettségére)
 - házak magassága, utca szélessége
 - tetők feletti terjedés és diffrakció
- **beltéri modellek**

KÉTUTAS TERJEDÉSI MODELL



- alapvető eredmény (elméleti): $P_V \cong P_A \cdot \left(\frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2$
- javítás: frekvencia-függés: $P_{Veff} = P_V \cdot f^{-n}$

- gyakorlati tapasztalat: a csillapítás értéke (decibelben) a távolság logaritmusával adott meredekség szerint nő (kb. a távolság mínusz második hatványa szerint)
- egy adott távolság után (breakpoint) a távolság nagyobb negatív hatványa szerint (4-5), azaz logaritmikusan nagyobb meredekséggel
- $L_P = L_1 + 10g_1 \log(d)$, ha $d < d_{bp}$
- $L_P = L_1 + 10g_1 \log(d_{bp}) + 10g_2 \log(d/d_{bp})$, ha $d > d_{bp}$
- $d_{bp} = 4 h_{BTS} h_m / \lambda$

- a csatorna csillapítását becsli
- $$L_P = A + B \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_{\text{BTS}}) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \cdot \log(h_{\text{BTS}})) \log(d)$$
- a csillapítás decibelben megadva
- $A = 69,55$ és $B = 26,16$; ha $150 \text{ MHz} < f < 1000 \text{ MHz}$
- $A = 46,3$ és $B = 33,9$; ha $1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$
- f : vivőfrekvencia, h_m : mobil antenna magassága,
 h_{BTS} : BS antenna effektív magassága (átlagos környező tengerszint feletti magassághoz képest)

- a mobil antenna magasság korrekció: $a(h_m)$

- kisvárosi környezetben:

$$a(h_m) = (1,1 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8)$$

- nagyvárosokban:

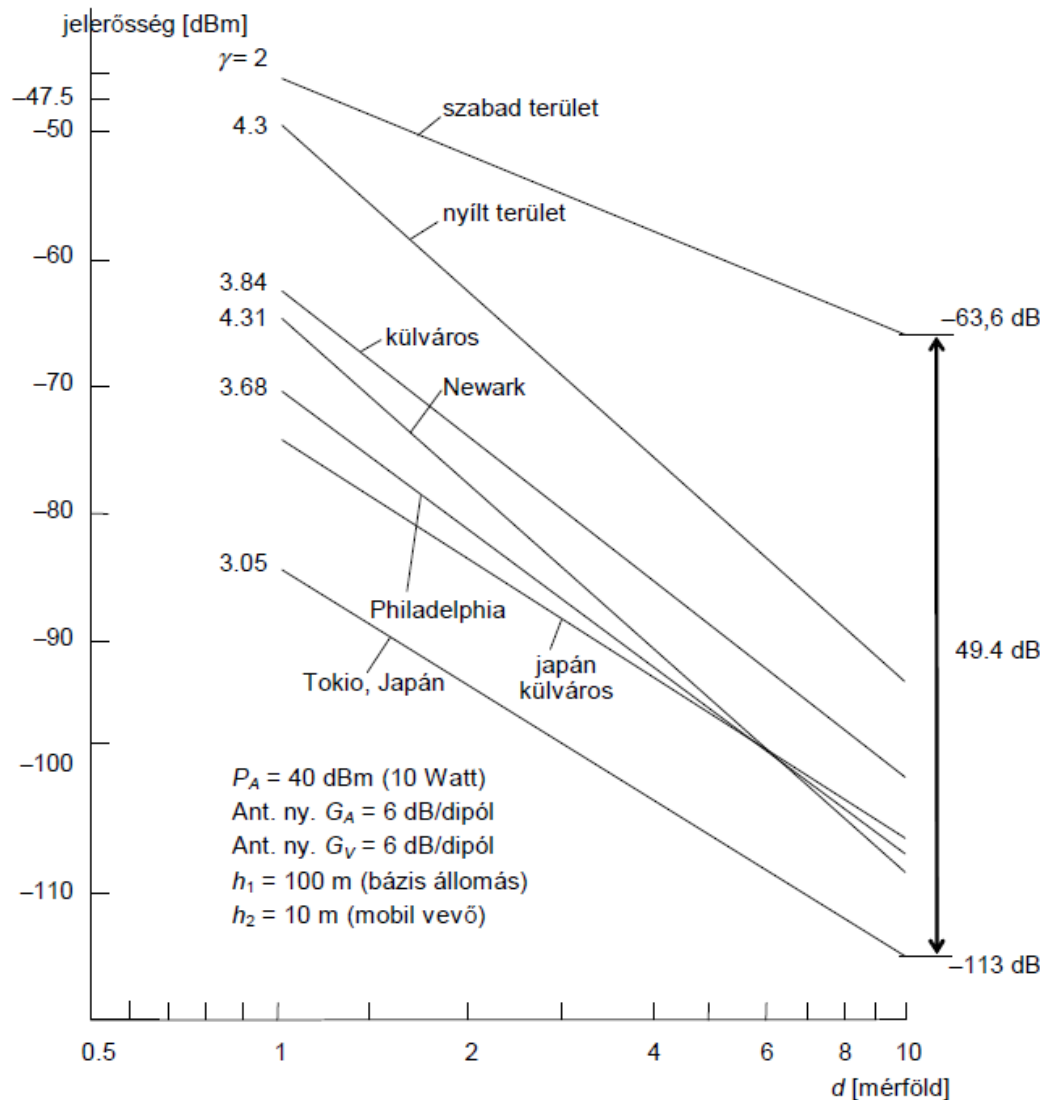
$$a(h_m) = 8,29 \cdot (\log(1,54 \cdot h_m))^2 - 1,1; \text{ ha } f < 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 3,2 \cdot (\log(11,75 \cdot h_m))^2 - 4,97; \text{ ha } f > 400 \text{ MHz}$$

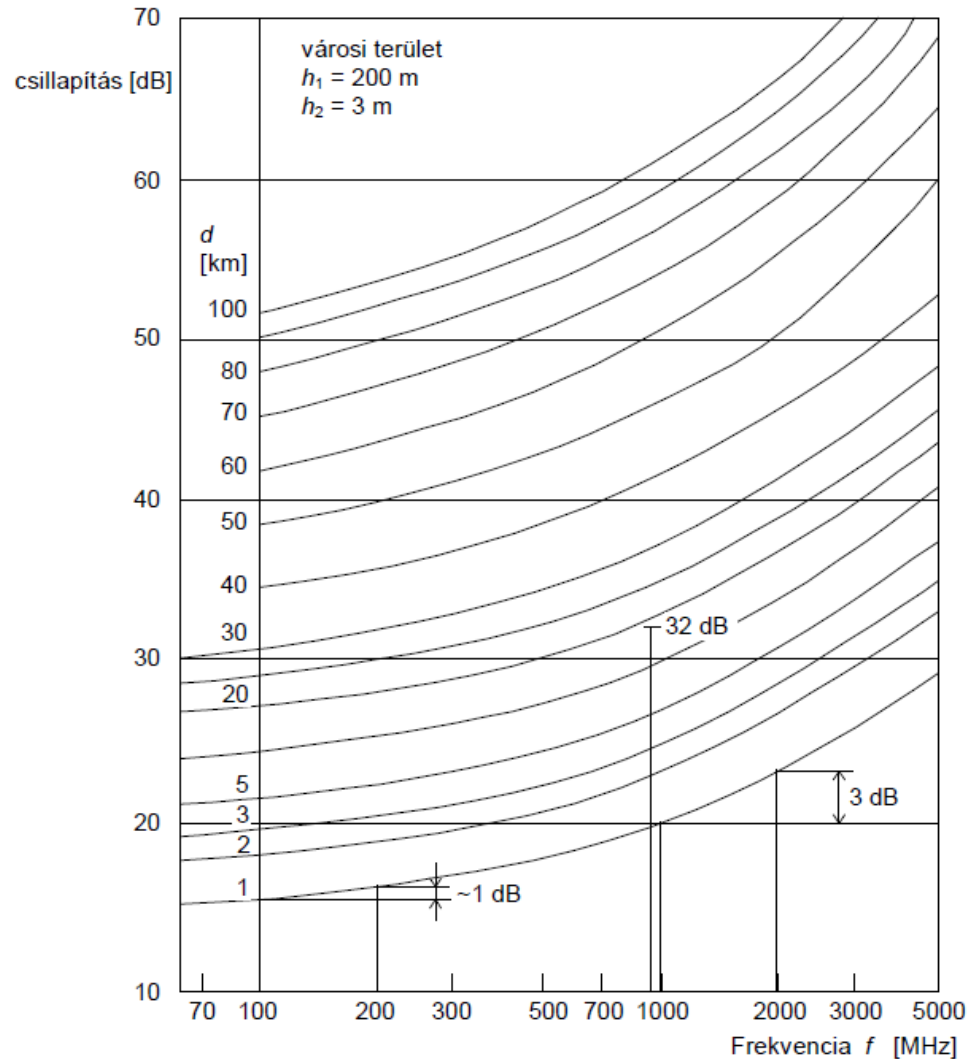
Alapvetően nagy kiterjedésű, sík városi környezetre.

- módosítás dombos, városon kívüli, erdős stb. területekre
- $L_{\text{eff}} = L_P + L_{\text{Diff}} + L_{\text{morpho}}$
- L_{Diff} : diffrakciós csillapítás, a terjedési útban lévő tárgyak miatt, számolható
- L_{morpho} : morfológiai osztályok szerinti módosítás
 - értékei: pl. vízfelület: 20, erdő: 8, külváros: 6

CSILLAPÍTÁS KÜLÖNBÖZŐ TERÜLETEKEN (900 MHz)



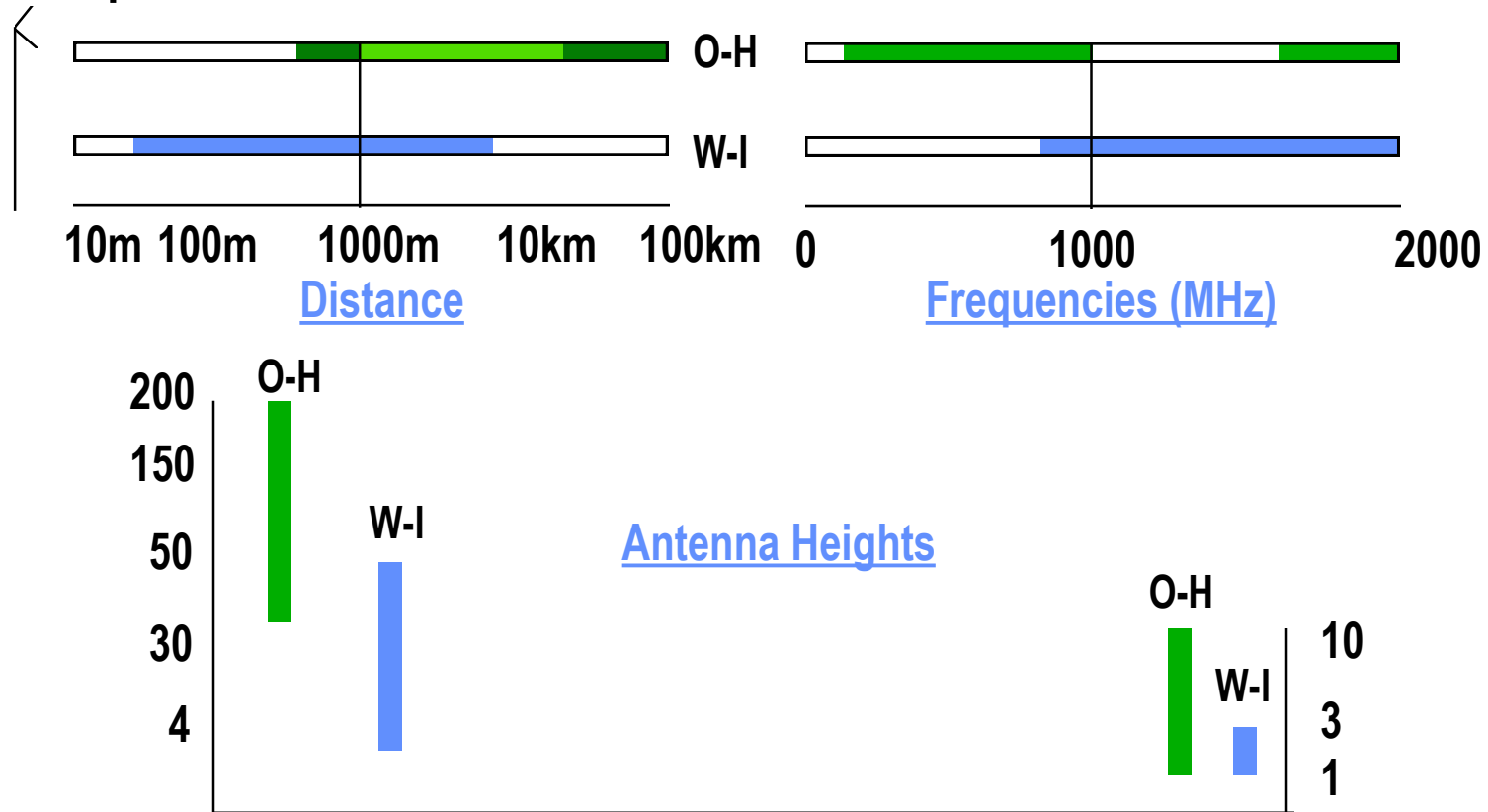
A CSILLAPÍTÁS FREKVENCIAFÜGGÉSE



- mikrocellák, városi környezet
- két összefüggés: látható mobil (Line of Sight, LOS) és nem látható (Non Line of Sight, NLOS)
- LOS (utcákban), „kanyon” hatás, a csillapítás számítása:

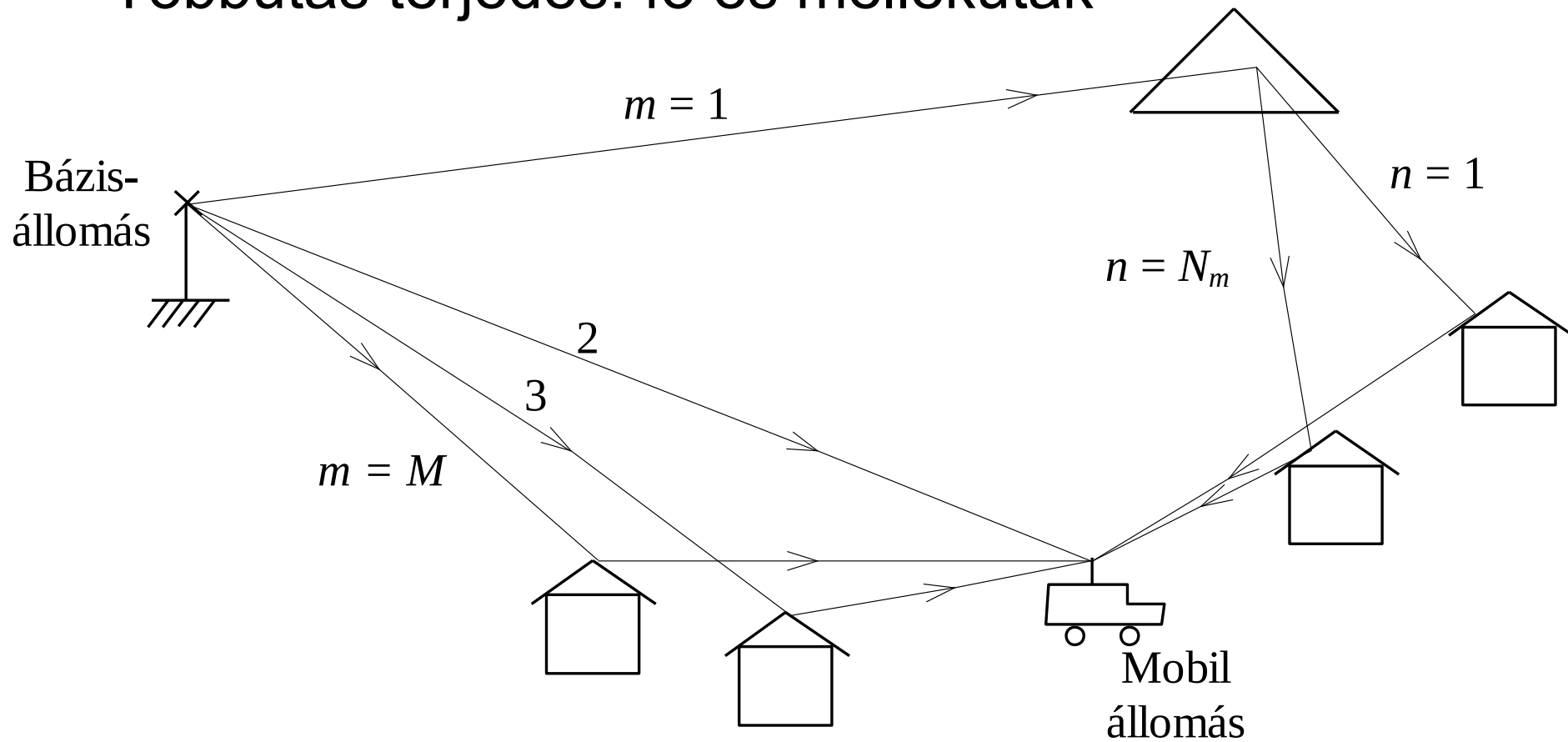
$$L_P = 42,6 + 20 \log(f) + 26 \log(d)$$
- NLOS: $L_P = 32,44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + L_{rsd} + L_{msd}$
 - L_{rsd} : az utca körüli épületek tetejének szórása
 - L_{msd} : a távolabbi tetőkön való szórás
 - ezek számítása: átlagos utca szélesség, átlagos épület magasság, utcák irányszöge az antennához képest stb.

- O-H és W-I
- a csillapítási modellek minden paraméterét nem kell bemagolni, azt kell tudni hogy mik befolyásolják a csillapítást és hol használható az adott modell



- az épületek alaprajza, építőanyaga, falak anyaga és vastagsága befolyásolja
- bútorzat, emberek mozgása is befolyásolja, időben változó
- számítás: geometriai diffrakciós modellek, empirikus adatok alapján
- pl. $L_{in} = L_0 + L_C + \sum(n_{wi}L_{wi}) + (n_f)^e L_f$
 - ahol L_0 : szabadtéri csill., L_C : empirikus konstans
 - n_{wi} : i. típusú falak száma a terjedési útban, L_{wi} : fal csill.
 - n_f : hány padlón keresztül terjed
 - $e = (n_f + 2)/(n_f + 1) - k$; k : empirikus konstans

- Többutas terjedés: fő és mellékutak



- m fő terjedési útvonal sorszáma ($m = 1, \dots, M$)
- n mellékútvonal sorszáma ($n = 1, \dots, N_m$)
- $r_{mn}(t)$ az mn útvonalon haladó jel a vevő helyén
- α_{mn} a csillapítási tényező
- τ_{mn} a késleltetés
- f_{mn} a Doppler-csúszás $f_{mn} = \frac{f_0 v}{c} \cos \psi_{mn}$
- v a mobil sebessége
- ψ_{mn} a mozgás és a hullámterjedés iránya által bezárt szög
- c a fénysebesség
- f_0 vivőfrekvencia
- A jelünk: $s(t) = \text{Re}\{s_+(t)\} = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t))$

- Az mn útvonalon érkező jel komplex előburkolója a vevőben: $r_{+mn}(t) = \alpha_{mn} s_{ekv}(t - \tau_{mn}) e^{j2\pi f_0(t - \tau_{mn})} e^{j2\pi f_{mn}t}$
- A vett jel tehát ezek összege:

$$r_+(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn} s_{ekv}(t - \tau_{mn}) e^{j2\pi f_0(t - \tau_{mn}) + j2\pi f_{mn}t}$$

- Ha a szóródás után az egyes mellékutakon közel azonos hosszúságú utat tesz meg a vevőig, vagy csak olyan kis mértékben tér el az egyes utakon, hogy a változás a szimbólumidőhöz képest kicsi,

akkor jó közelítés: $T_m = \frac{1}{N_m} \sum_{n=1}^{N_m} \tau_{mn}$

- Így:
$$r_+(t) = \sum_{m=1}^M s_{ekv}(t - T_m) e^{j2\pi f_0 t} \underbrace{\sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn} e^{-j2\pi f_0 \tau_{mn} + j2\pi f_{mn}t}}_{z_m(t)}$$

- Azaz a vett jel komplex alapsávi ekvivalense:

$$r_{ekv}(t) = \sum_{m=1}^M s_{ekv}(t - T_m) z_m(t)$$

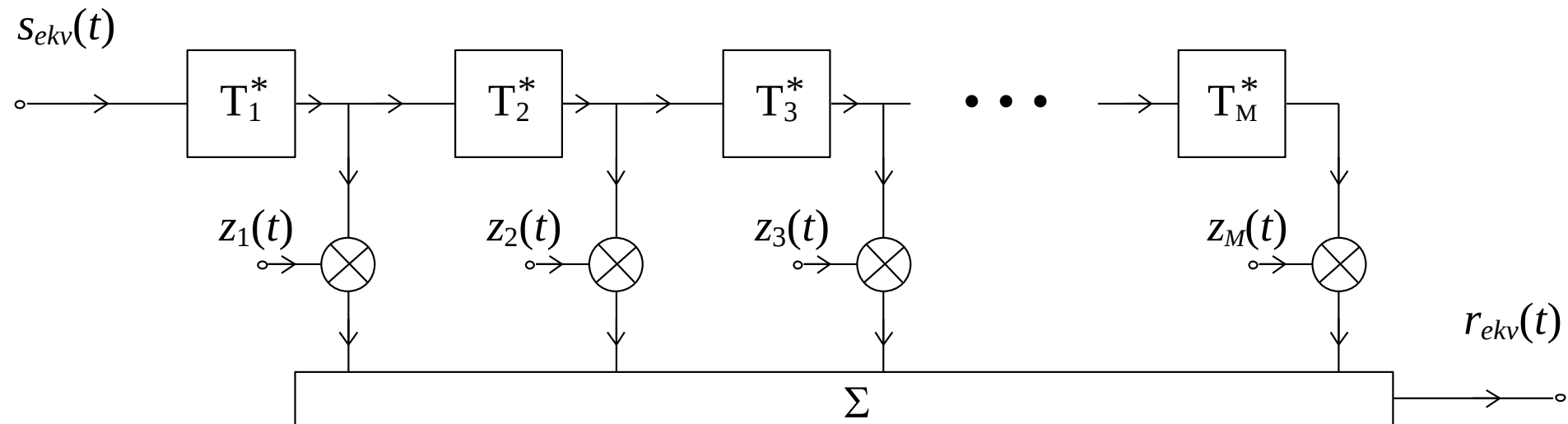
- A fadinget a komplex szorzófaktor jelenti, ami általánosan:

$$z_m(t) = x_m(t) + j y_m(t)$$

- A mellékutak csillapítása, késleltetése és Doppler szórása időben változik, véletlenszerű. Ha a mellékutak száma nagy, a jellemzők pedig függetlenek és azonos eloszlásúak, akkor a centrális határeloszlás tétel értelmében a valós és képzetes rész is normális eloszlású.
- Aleset: nagyon sok mellékútvonal van csak, a vett jel alapsávi ekvivalensében egy késleltetés, egy szorzó ($M=1$)
- Modell: x és y 0 várható értékű, szigma szórású normális eloszlású.

- A csatorna modellje pedig a következő:

$$T_1^* = T_1 ; T_i^* = \sum_{j=0}^i T_j^*$$



- Számítsa ki a GSM cellák maximális méretét km-ben az adás siettetés (Timing Advance – TA) alapján!
- Access burst:

T8	Synchronization sequence 41	Coded Data 36	T3	Guard Period 68.25
----	--------------------------------	------------------	----	-----------------------

 - GMSK moduláció sebessége GSM-ben: 270,833 kbps
 - fénysebesség: $v_{\text{fény}} = 3 \cdot 10^8$ m/s
- A mobilok különböző helyzetéből fakadó terjedési késleltetés interferenciát okozhat a BS-nál, ezért találták ki az adás siettetés mechanizmusát.
- Az access burst védő ideje alapján határozható meg az a távolság, amit a rendszer még tolerál.
 - Más szóval, ha kiszámoljuk, hogy a 68,25 bit megtételéhez mennyi időre van szükség a GSM rendszerben, akkor megkapjuk a mobil terminál maximális megengedett távolság kétszeresét egy BS-tól.

- Számítsa ki egy LTE cella lefedettségi sugarát méterben, ha a környékét síknak tekintjük és a csatornát következőképp modellezzük:
 - A) SUI (Stanford University Interim) modellel jellemezzük.
 - B) a távolság 4. hatványával arányos a csillapítás.
- Tegyük fel, hogy:
 - LTE-ben -100 dBm jelszint jelenti a cellahatárt,
 - a bázisállomás adóteljesítménye 20 W / 20 mW,
 - a vivőfrekvenciája 2 GHz,
 - antennája 40 m magasan helyezkedik el.

2. FELADAT (FOLYT.)

- SUI modell:

$$PL_{SUI} = 20 \cdot \log_{10}(400d_0 \pi/\lambda) + 10 \cdot (a - b \cdot h_b + c/h_b) \cdot \log_{10}(d/d_0)$$

- PL_{SUI} a csillapítás dB-ben;
- λ a vivő hullámhossza méterben;
- d a távolság; d_0 referencia távolság (100m)
- h_b az adóantenna magassága;
- a, b, c terepfüggő paraméterek:

Modell paraméter	Magas csillapítású terep	Közepes csillapítású terep	Alacsony csillapítású terep
a	4,6	4,0	3,6
b (m ⁻¹)	0,0075	0,0065	0,005
c (m)	12,6	17,1	20



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK



A számítási feladatok megoldása:

Általános megjegyzés: a feladatokhoz tudni kell: a dB és nem dB közti átváltást (másképpen: a logaritmus és a hatványozás azonosságait), illetve egyismeretlenes egyenletből az ismeretlen kifejezését, valamint két egyenletet tartalmazó két ismeretlenes lineáris egyenletrendszert megoldani. Továbbá az UMTS csatorna sáv szélességét (5 MHz).

1. Egy UMTS cellát vizsgálunk. Downlink irányban a csillapítás távolság függése $PL(d)=10+41*\lg(d)$ (decibelben), ahol d méterben van. Tegyük fel, hogy a bázisállomás összteljesítménye 20Watt és az alábbi példákban a teljes teljesítménnyel üzemel a bázisállomás (terhelt eset).

a) Mekkora teljesítmény jusson egy 384 kbps kapcsolatra ($SF=8$), ha azt akarjuk, hogy az 5.2 decibeles jel-zaj viszony követelménye teljesüljön, és az ortogonalitási faktor (a saját interferenciát jellemző mennyiség) $\rho = 0.8$? (ebben az esetben a termikus zaj és a külső interferencia elhanyagolható) (3 pont)

b) Milyen távolságban lehet használni a 384 kbps szolgáltatást a bázisállomástól, ha termikus zaj is jelen van (termikus zaj teljesítménye: $P_{zaj}=W \cdot k \cdot T$, $k=1.38 \cdot 10^{-23}$, $T=300K$ hőmérséklet, W a sáv szélesség Herzben, amit UMTS esetére tudni kell), de a külső interferencia elhanyagolható és a 384 kbps bearerre jutó teljesítmény maximum 1 Watt ? (3 pont)

c) Mekkora lehet a külső interferencia cellahatáron vehető összteljesítménye maximálisan, ha azt szeretnénk, hogy a max 1Watt teljesítményű 384 kbps bearer a cellahatáron (700 méterre a bázisállomástól) is használható legyen és termikus zaj is jelen van?

A feladathoz a jel-zaj arány kifejezése (figyelem, ez lineáris skála, nem decibel skála!):

$$SNR = SF \frac{P_{384} \frac{1}{PL(d)}}{(1-\rho)P_{össz} \frac{1}{PL(d)} + P_{külső} + P_{zaj}}.$$

Megoldás:

Először is: amikor SNR-t hányadosként fejezünk ki, abban az összefüggésben semmi nem lehet decibel, minden lineáris. Aki ide decibel kifejezést helyettesít (megadott segítség SNR egyenlet) az eleve elhibázza. Erre figyelmeztet a feladat szövege is.

Azaz a terjedési csillapítás kifejezését át kell írunk lineáris skálába: $PL(d) = 10^{\frac{10+41\lg(d)}{10}} = 10^1 d^{4.1}$

a) megoldás:

Ebben a részfeladatban azonban, mivel a szöveg szerint $P_{külső} = 0$, $P_{zaj} = 0$, a fenti SNR egyenletben

$PL(d)$ -vel lehet egyszerűsíteni, így: $SNR = SF \frac{P_{384}}{(1-\rho)P_{össz}}$. Az SNR követelmény a szöveg szerint 5.2

decibel, azaz lineáris skálán $10^{\frac{5.2}{10}} = 10^{0.52} = 3.31$. Hogy működjön a szolgáltatás, az SNR-nek legalább

ekkorának kell lennie, azaz $SNR \geq 10^{0.52} \Rightarrow SF \frac{P_{384}}{(1-\rho)P_{össz}} \geq 10^{0.52} \Rightarrow P_{384} \geq \frac{10^{0.52}(1-\rho)P_{össz}}{SF}$.

Behelyettesítve (a szöveg szerint $P_{össz} = 20W$ mindig és $\rho = 0.8$), a minimálisan szükséges teljesítmény értékre (Akinek nincs számológépe, idáig illik eljutni) $P_{384} \geq 10^{0.52} (1 - 0.8) \cdot 20 / 8 \Rightarrow \underline{\underline{P_{384} \geq 1.656 W}}$

b) megoldás:

Az eredeti szöveg 1 W-ban maximálja a P_{384} értékét. Az előző eredmény szerint 1 W-tal soha nem lehet az SNR követelményt kielégíteni, hiszen zaj és külső interferencia elhanyagolása esetén is 1.656 W kellett. (Ha P_{zaj} is megjelenik, az SNR kifejezés nevezője növekszik, a P_{384} -nek is nőnie kéne.) Megoldás: 1 W max. teljesítmény esetén nem lehet semmilyen távolságban sem kommunikálni.

Módosított feladat: a 384 kbps bearerre jutó teljesítmény maximum 3 Watt

Ekkor:

$$SNR \geq 10^{0.52} \Rightarrow SF \frac{P_{384 \max} \frac{1}{PL(d)}}{(1-\rho)P_{össz} \frac{1}{PL(d)} + P_{zaj}} \geq 10^{0.52} \Rightarrow \frac{SF \cdot P_{384 \max} - 10^{0.52} (1-\rho)P_{össz}}{P_{zaj}} \geq PL(d), \text{ ahol}$$

$$P_{zaj} = kTW = 1.38 \cdot 10^{-23} 300 \cdot 5000000 = 2.07 \cdot 10^{-14} \text{ Watt} . \text{ Azaz}$$

$$\frac{SF \cdot P_{384 \max} - 10^{0.52} (1-\rho)P_{össz}}{P_{zaj}} \geq 10^1 \cdot d^{4.1} \Rightarrow \left(\frac{SF \cdot P_{384 \max} - 10^{0.52} (1-\rho)P_{össz}}{10 P_{zaj}} \right)^{\frac{1}{4.1}} \geq d .$$

Behelyettesítve (Akinek nincs számológépe, idáig illik eljutni)

$$\left(\frac{8 \cdot 3 - 10^{0.52} (1-0.8)20}{10 \cdot 2.07 \cdot 10^{-14}} \right)^{\frac{1}{4.1}} \geq d \Rightarrow \underline{\underline{2214.5 m \geq d}}, \text{ azaz a mobil legfeljebb 2,2145 km-re távolodhat el.}$$

c) megoldás:

Itt is érvényes, hogy 1 W max teljesítménynél nem működne a szolgáltatás sehol, tehát értelmes megoldás kereséséhez itt is a P_{384} maximumát 3 W-tal számoljuk.

$$SNR \geq 10^{0.52} \Rightarrow SF \frac{P_{384 \max} \frac{1}{PL(d)}}{(1-\rho)P_{össz} \frac{1}{PL(d)} + P_{zaj} + P_{külső}} \geq 10^{0.52}$$

$$\Rightarrow \frac{SF \cdot P_{384 \max} \frac{1}{PL(d)} - 10^{0.52} (1-\rho)P_{össz} \frac{1}{PL(d)} - 10^{0.52} P_{zaj}}{10^{0.52}} \geq P_{külső}$$

Behelyettesítve ($d=700$ m a szöveg szerint) (Akinek nincs számológépe, idáig illik eljutni)

$$\frac{8 \cdot 3 \frac{1}{10 \cdot 700^{4.1}} - 10^{0.52} (1-0.8)20 \frac{1}{10 \cdot 700^{4.1}} - 10^{0.52} 2.07 \cdot 10^{-14}}{10^{0.52}} \geq P_{külső} \Rightarrow \underline{\underline{6.819 \cdot 10^{-13} W \geq P_{külső}}}$$

2. Egy UMTS hálózatban a terjedési csillapítás a következő módon jellemezhető: $PL=24+32*\lg(d)$ DECIBEL, ahol d távolság méterben adott. Két mobil 384 kbps uplink kapcsolatot akar fenntartani, aminek SINR követelménye 3.2 dB.

a) Hány mW az interferencia, ha az 1. mobil 500m távolságban van és 27.6 mW teljesítménnyel ad, a 2. mobil 600 m távolságból 41.8 mW teljesítménnyel ad és a termikus zajtól eltekintünk? (3 pont)

b) Mekkora a két mobil adási teljesítménye, ha a termikus zajt is figyelembe vesszük ($T=290$ Kelvin), a külső interferencia mértéke 10^{-11} mW és az egyik terminál 500 m, a másik 850 m távolságban van a bázisállomástól? (4 pont)

c) Milyen messze távolodhat el maximum az 500 méterre lévő, ha fenn akarja tartani a kapcsolatát (a másik ott marad, ahol volt), tudván, hogy maximális adóteljesítménye 250 mW, az interferencia és a termikus zaj mértéke pedig a b) feladatban megadott? (3 pont)

Segítség: $SINR = SF * \frac{P_{vett_i}}{\sum_{j \neq i} P_{vett_j} + P_{interf} + P_{zaj}}$, $P_{zaj} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot T \cdot \text{sávszélesség}$ Továbbá:

$P_{vett_i} = \frac{P_{adott_i}}{PL(\text{távolság})}$, ahol $PL(\text{távolság})$ NEM DECIBEL, hanem lineáris.

Figyelem! Ezek a képletek nem decibelben vannak, ugye mindenki észrevette. Decibellel soha nem osztunk, szorzunk. Feltételezett ismeretanyag: UMTS sávszélesség (nem azonos az átviteli sebességgel).

Megoldás:

Először is: amikor SNR-t hányadosként fejezünk ki, abban az összefüggésben semmi nem lehet decibel, minden lineáris, ezt a szöveg maga is rendkívüli módon hangsúlyozza. Aki ide decibel kifejezést helyettesít (megadott SNR egyenlet) az elve elhibázza.

Azaz a terjedési csillapítás kifejezését át kell írunk lineáris skálába: $PL(d) = 10^{\frac{24+32\lg(d)}{10}} = 10^{2.4} d^{3.2}$

A feladatban szereplő jel-zaj viszony követelmény pedig 3.2 dB, azaz $10^{\frac{3.2}{10}} = 10^{0.32} = 2.09$

a) megoldás:

$$SNR_1 = SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_1)}}{P_2 \frac{1}{PL(d_2)} + P_{zaj} + P_{interf}}, SNR_2 = SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_2)}}{P_1 \frac{1}{PL(d_1)} + P_{zaj} + P_{interf}} \text{ és } SNR_1 \geq 10^{0.32}, SNR_2 \geq 10^{0.32}$$

Azaz

$$SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_1)}}{P_2 \frac{1}{PL(d_2)} + P_{zaj} + P_{interf}} \geq 10^{0.32}, SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_2)}}{P_1 \frac{1}{PL(d_1)} + P_{zaj} + P_{interf}} \geq 10^{0.32}.$$

A feladat szövege szerint $P_{zaj}=0$, kifejezve P_{interf} értékét:

$$\frac{SF \cdot P_1 \frac{1}{PL(d_1)} - 10^{0.32} P_2 \frac{1}{PL(d_2)}}{10^{0.32}} \geq P_{interf}, \frac{SF \cdot P_2 \frac{1}{PL(d_2)} - 10^{0.32} P_1 \frac{1}{PL(d_1)}}{10^{0.32}} \geq P_{interf}. \text{ Behelyettesítve}$$

(Aki nek nincs számológépe, idáig illik eljutni):

$$\frac{8 \cdot 27.6 \frac{1}{10^{2.4} 500^{3.2}} - 10^{0.32} 41.8 \frac{1}{10^{2.4} 600^{3.2}}}{10^{0.32}} \geq P_{interf}, \frac{8 \cdot 41.8 \frac{1}{10^{2.4} 600^{3.2}} - 10^{0.32} 27.6 \frac{1}{10^{2.4} 500^{3.2}}}{10^{0.32}} \geq P_{interf}$$

Azaz $7.5683 \cdot 10^{-10} mW \geq P_{interf}$, $5.6706 \cdot 10^{-10} mW \geq P_{interf}$, természetesen hogy mindkét mobil SNR követelménye teljesüljön, a két érték közül a kisebb a megengedhető maximum, azaz $5.6706 \cdot 10^{-10} mW \geq P_{interf}$, de bármelyik értéket elfogadtam.

b) megoldás:

$$P_{zaj} = kTW = 1.38 \cdot 10^{-23} 290 \cdot 5000000 = 2.001 \cdot 10^{-14} Watt$$

$$SNR_1 = SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_1)}}{P_2 \frac{1}{PL(d_2)} + P_{zaj} + P_{interf}}, SNR_2 = SF \frac{P_2 \frac{1}{PL(d_2)}}{P_1 \frac{1}{PL(d_1)} + P_{zaj} + P_{interf}} \text{ és } SNR_1 \geq 10^{0.32}, SNR_2 \geq 10^{0.32}.$$

Az egyenlőségekre tovább:

$$SF \cdot P_1 \frac{1}{PL(d_1)} - 10^{0.32} P_2 \frac{1}{PL(d_2)} = 10^{0.32} (P_{zaj} + P_{interf})$$

$$SF \cdot P_2 \frac{1}{PL(d_2)} - 10^{0.32} P_1 \frac{1}{PL(d_1)} = 10^{0.32} (P_{zaj} + P_{interf})$$

Fejezzük ki pl. P_1 -et:

$$P_1 = \left(10^{0.32} (P_{zaj} + P_{interf}) + 10^{0.32} P_2 \frac{1}{PL(d_2)} \right) \frac{PL(d_1)}{SF}$$

Helyettesítsünk a másik egyenletbe P_1 -et:

$$SF \cdot P_2 \frac{1}{PL(d_2)} - 10^{0.32} \left(10^{0.32} (P_{zaj} + P_{int\,efr}) + 10^{0.32} P_2 \frac{1}{PL(d_2)} \right) \frac{PL(d_1)}{SF} \frac{1}{PL(d_1)} = 10^{0.32} (P_{zaj} + P_{int\,efr})$$

Innen átrendezés után P_2 :

$$P_2 = \frac{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{SF}}{SF - \frac{10^{0.64}}{SF}} PL(d_2) (P_{zaj} + P_{int\,efr}) \cdot \text{Innen behelyettesítéssel (idáig kell eljutni számológép nélkül):}$$

$$P_2 = \frac{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{8}}{8 - \frac{10^{0.64}}{8}} 10^{2.4} 850^{3.2} (2.001 \cdot 10^{-14} + 10^{-14}) \text{ Watt} = 0.0063 \text{ Watt}$$

P_1 helyettesítéssel (idáig kell eljutni számológép nélkül):

$$P_1 = \left(10^{0.32} (2.001 \cdot 10^{-14} + 10^{-14}) + 10^{0.32} P_2 \frac{1}{10^{2.4} 850^{3.2}} \right) \frac{10^{2.4} 500^{3.2}}{8}$$

$$P_1 = 0.0012 \text{ Watt}$$

c) megoldás:

$$SNR_1 = SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_1)}}{P_2 \frac{1}{PL(d_2)} + P_{zaj} + P_{int\,erf}}, SNR_2 = SF \frac{P_1 \frac{1}{PL(d_2)}}{P_1 \frac{1}{PL(d_1)} + P_{zaj} + P_{int\,erf}} \text{ és } SNR_1 \geq 10^{0.32}, SNR_2 \geq 10^{0.32},$$

ahol most d_1 -et keressük úgy, hogy P_1 és P_2 maximum 0,25 W lehet, $d_2=850$ m, P_{zaj} , $P_{int\,erf}$ is az előző pontban adott.

Nyilvánvaló, d_1 akkor lehet maximum, ha P_1 is maximum, azaz 0,25 W. Azaz a fenti két SNR egyenletben ezúttal P_2 és d_1 lesz az ismeretlen (de csak d_1 a kérdés).

A két egyenlet megoldásaként:

$$\frac{1}{PL(d_1)} = \frac{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{SF}}{\left(SF - \frac{10^{0.64}}{SF} \right) P_1} (P_{zaj} + P_{int\,erf}) \Rightarrow PL(d_1) = \frac{\left(SF - \frac{10^{0.64}}{SF} \right) P_1}{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{SF}} \frac{1}{(P_{zaj} + P_{int\,erf})}, \text{ azaz}$$

$$10^{2.4} d_1^{3.2} = \frac{\left(SF - \frac{10^{0.64}}{SF}\right) P_1}{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{SF}} \frac{1}{(P_{zaj} + P_{intefr})} \Rightarrow d_1 = \left(10^{-2.4} \frac{\left(SF - \frac{10^{0.64}}{SF}\right) P_1}{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{SF}} \frac{1}{(P_{zaj} + P_{intefr})} \right)^{\frac{1}{3.2}}$$

$$d_1 = \left(10^{-2.4} \frac{\left(8 - \frac{10^{0.64}}{8}\right) 0.25}{10^{0.32} + \frac{10^{0.64}}{8}} \frac{1}{2.001 \cdot 10^{-14} + 10^{-14}} \right)^{\frac{1}{3.2}} = 2684.4 \text{ méter, azaz a mobil maximum 2,6844 km-}$$

re távolodhat.



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

A rádiós csatorna jellemzése (folytatás)

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
4. gyakorlat

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 10. 22.

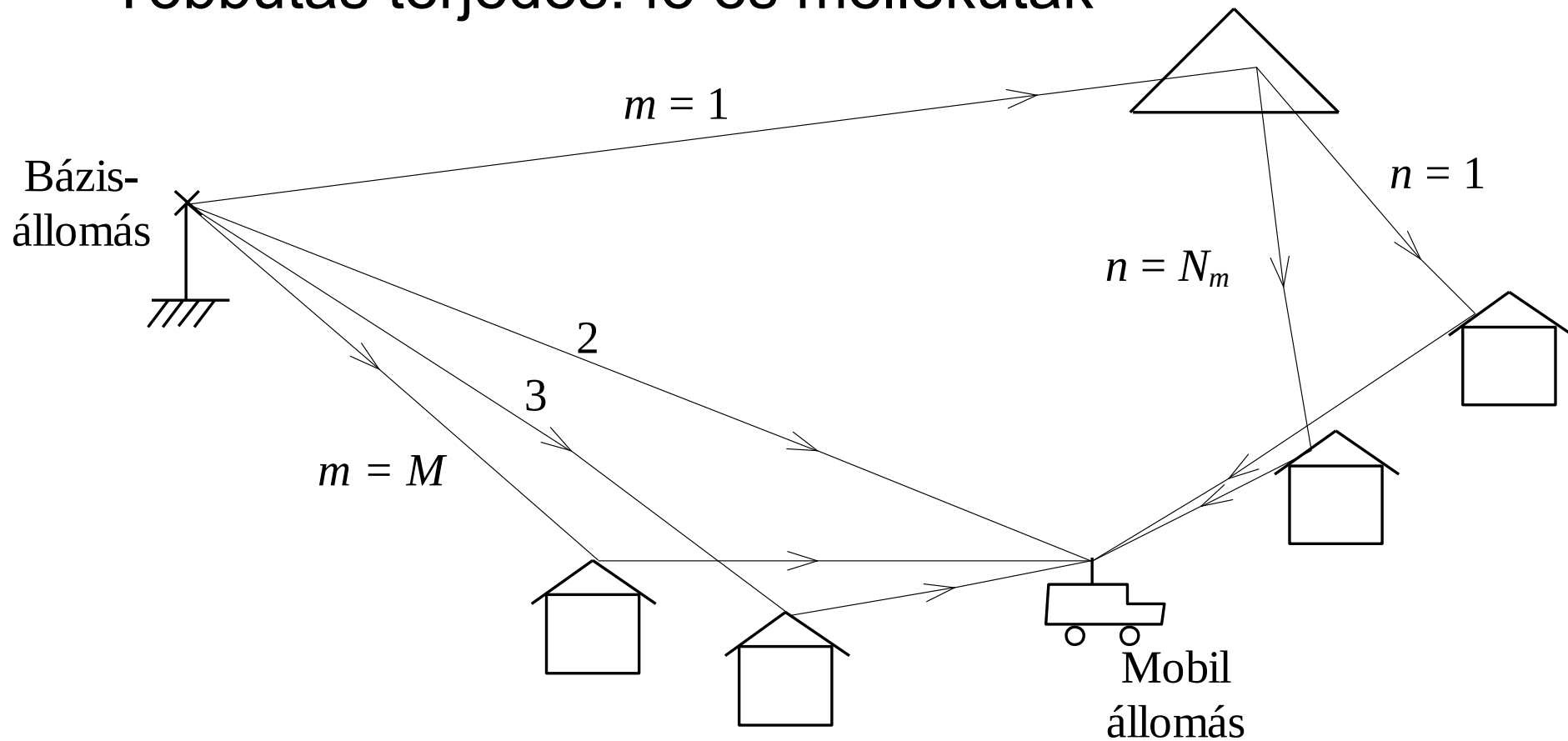




A rádiós csatorna

- **Csillapítás:** tereptől, időjárástól, távolságtól, frekvenciától, antenna magasságoktól stb. függ
- **Fading:** véletlen ingadozás a vett jel teljesítményében (amplitúdójában), sztochasztikus modellek
- **Zaj:** fehér zaj (Gauss): fehér: az adott sávban konstans teljesítménysűrűségű
- **Interferencia:** azonos csatornás, szomszédos csatornás, rendszerek közti
- **Cél:** bithibaarány adott határ alatt maradjon, tipikusan 0,001 alatt

- Többutas terjedés: fő és mellékutak



- m fő terjedési útvonal sorszáma ($m = 1, \dots, M$)
- n mellékútvonal sorszáma ($n = 1, \dots, N_m$)
- $r_{mn}(t)$ az mn útvonalon haladó jel a vevő helyén
- α_{mn} a csillapítási tényező
- τ_{mn} a késleltetés
- f_{mn} a Doppler-csúszás $f_{mn} = \frac{f_0 v}{c} \cos \psi_{mn}$
- v a mobil sebessége
- ψ_{mn} a mozgás és a hullámterjedés iránya által bezárt szög
- c a fénysebesség
- f_0 vivőfrekvencia
- A jelünk: $s(t) = \text{Re}\{s_+(t)\} = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t))$

- Az mn útvonalon érkező jel komplex előburkolója a vevőben: $r_{+mn}(t) = \alpha_{mn} s_{ekv}(t - \tau_{mn}) e^{j2\pi f_0(t - \tau_{mn})} e^{j2\pi f_{mn}t}$
- A vett jel tehát ezek összege:

$$r_+(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn} s_{ekv}(t - \tau_{mn}) e^{j2\pi f_0(t - \tau_{mn}) + j2\pi f_{mn}t}$$

- Ha a szóródás után az egyes mellékutakon közel azonos hosszúságú utat tesz meg a vevőig, vagy csak olyan kis mértékben tér el az egyes utakon, hogy a változás a szimbólumidőhöz képest kicsi, akkor jó közelítés: $T_m = \frac{1}{N_m} \sum_{n=1}^{N_m} \tau_{mn}$

- Így:
$$r_+(t) = \sum_{m=1}^M s_{ekv}(t - T_m) e^{j2\pi f_0 t} \underbrace{\sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn} e^{-j2\pi f_0 \tau_{mn} + j2\pi f_{mn}t}}_{z_m(t)}$$

- Azaz a vett jel komplex alapsávi ekvivalense:

$$r_{ekv}(t) = \sum_{m=1}^M s_{ekv}(t - T_m) z_m(t)$$

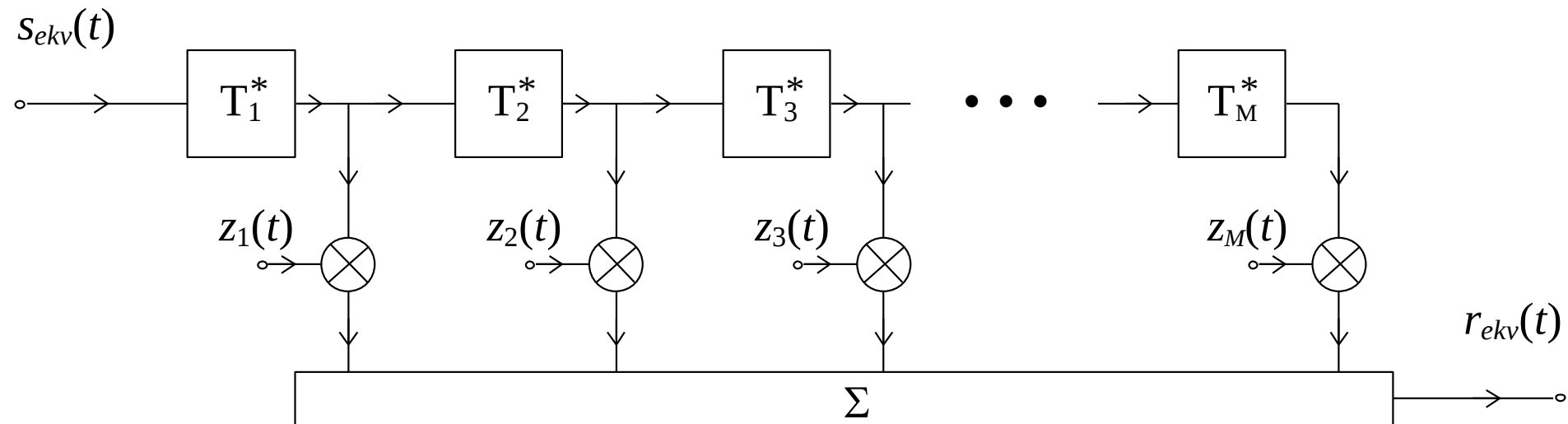
- A fadinget a komplex szorzófaktor jelenti, ami általánosan:

$$z_m(t) = x_m(t) + j y_m(t)$$

- A mellékutak csillapítása, késleltetése és Doppler szórása időben változik, véletlenszerű. Ha a mellékutak száma nagy, a jellemzők pedig függetlenek és azonos eloszlásúak, akkor a centrális határeloszlás tétel értelmében a valós és képzetes rész is normális eloszlású.
- Aleset: nagyon sok mellékútvonal van csak, a vett jel alapsávi ekvivalensében egy késleltetés, egy szorzó ($M=1$)
- Modell: x és y 0 várható értékű, szigma szórású normális eloszlású.

- A csatorna modellje pedig a következő:

$$T_1^* = T_1 ; T_i^* = \sum_{j=0}^i T_j^*$$



- Nos, a komplex szorzófaktor mit jelent fázisban és amplitúdóban?

$$A = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad \phi = \operatorname{artg}\left(\frac{y}{x}\right) \bmod 2\pi$$

- Rayleigh eloszlás: $f_A(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}}$
- $f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi}$ egyenletes eloszlás
- Rayleigh-fadinges csatorna esetén $z(t)$ valós és képzetes része független, 0 várható értékű, σ szórású Gauss-eloszlású valószínűségi változók.
- Két független Gauss-eloszlású valószínűségi változó vektoriális összegének az eloszlása Rayleigh-eloszlást követ.
- Ez a Rayleigh fading. Ilyen csatornán a jelből vett minta Rayleigh eloszlású véletlen csillapítást szenved.

- Várható értéke: $E[A] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma$
- Második momentum: $E[A^2] = 2 \sigma^2$
- Szórásnégyzet: $E[(A - E[A])^2] = E[A^2] - (E[A])^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \sigma^2$

- A bithibaarány becsléséhez, ill. teljesítéshez a jel-zaj viszonyt kell tudni (különböző modulációkra ismert a bithibaarány jel-zaj viszony függése)
- A jel-zaj viszony: $\Gamma = \frac{A^2 T}{2N_0} = \frac{E_s}{N_0}$

- Ennek várható értéke, azaz az átlagos SNR:

$$\gamma_0 = E[\Gamma] = \frac{T}{2N_0} E[A^2] = E\left[\frac{E_s}{N_0}\right]$$

- Mivel A Rayleigh eloszlású, a második momentumát tudjuk, így

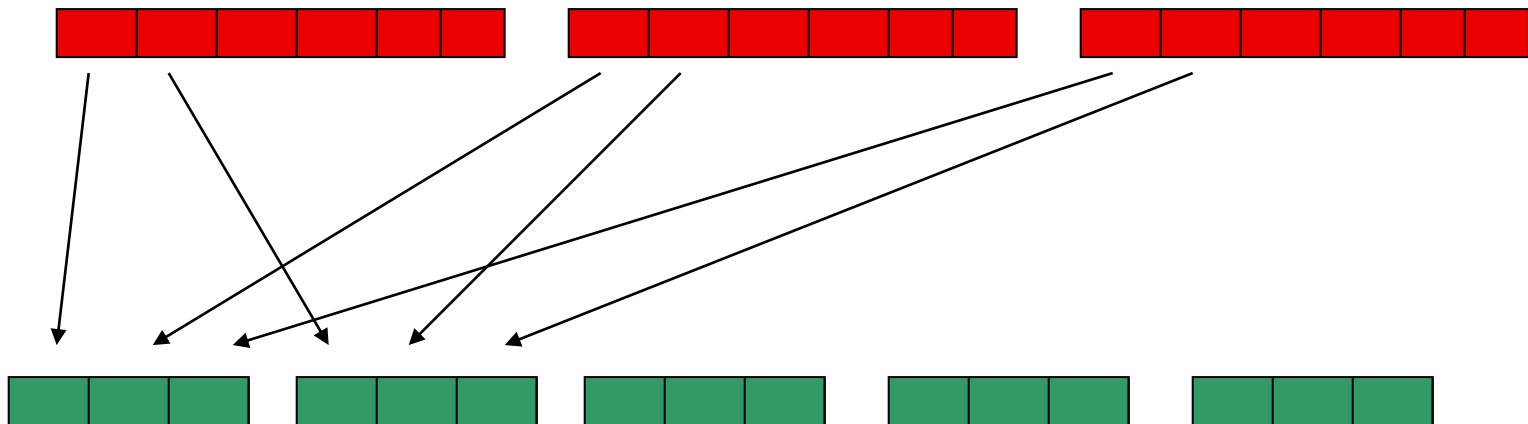
$$\gamma_0 = \frac{T\sigma^2}{N_0}$$

- Mi a jel-zaj viszony eloszlása?
- Levezetés után:
$$f_{\Gamma}(\gamma) = \frac{1}{\gamma_0} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}}$$
- Azaz az SNR exponenciális eloszlású!
- A Rice fading: a vett jel amplitúdója Rice eloszlású, származtatása: a vevőig egy közvetlen terjedési úton + végtelen sok mellékúton jut el a jel
- a lognormál fading (lassú fading vagy Suzuki fading): a csatorna csillapításához (pl. Okumura-Hata alapján) logaritmikus skálán egy normális eloszlású véletlen csillapítás adódik, a mobil mozgása során bekövetkező, tereptárgyak, épületek általi árnyékolás miatt, lassan változik



Hibavédelem

- hogyan lehet a rossz csatorna hatásait kivédeni?
 - **hibavédő kódolás (FEC)**: konvolúciós kódolás, blokk-kódolás, turbó kódolás: bizonyos mennyiségű bithibát képesek javítani, még többet jelezni, ha a hibák elszórtak, függetlenek
 - redundancia (több bit átvitele) kell hozzá
 - de a hibák: tipikusan börsztösen jelentkeznek
 - ezért: **interleaving** (átlapolás)



- **scrambling** (bitkeverés)

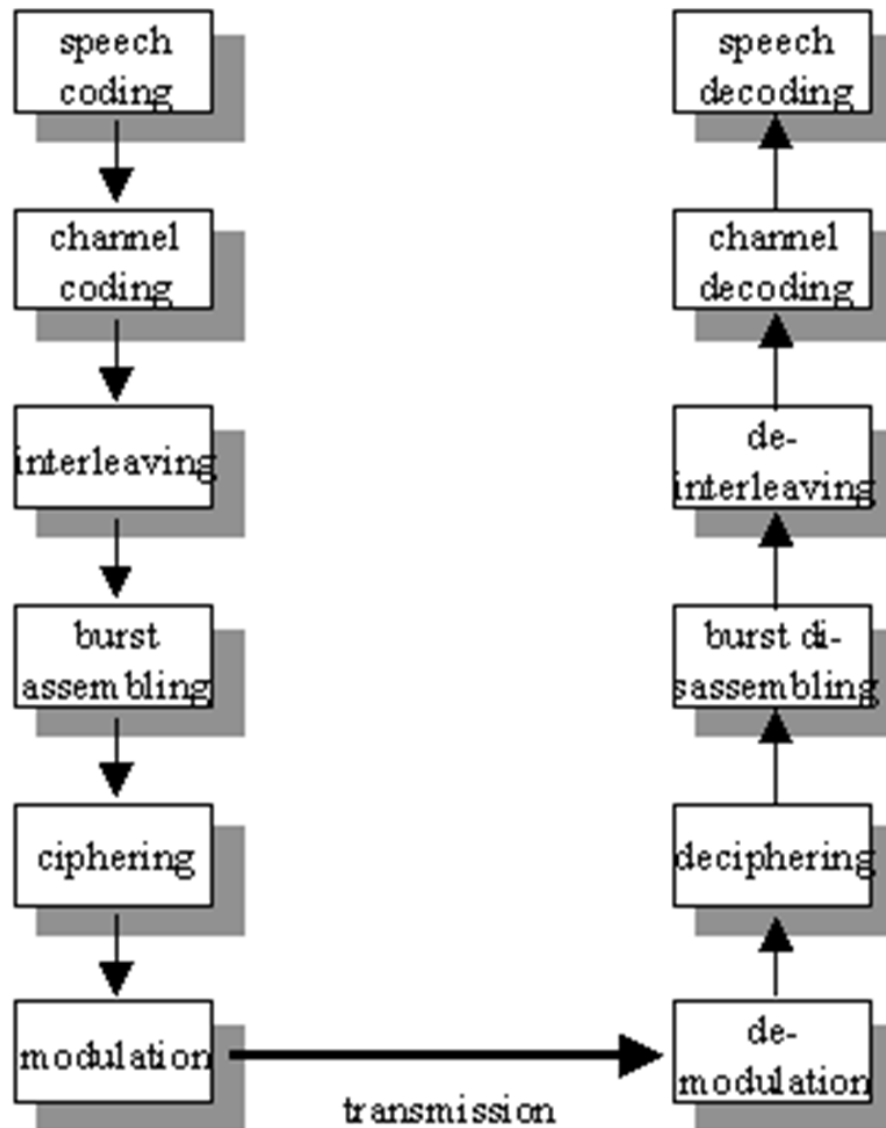
- hogyan lehet a rossz csatorna hatásait kivédeni?
 - nyugtázás/újraadás
 - többféle verzió: pozitív nyugta minden csomagra, küldési ablakos megoldások, negatív nyugta
 - általában: magasabb szintű moduláció és kisebb kódolási redundancia: kevésbé zavartűrő
 - adaptív moduláció és kódolás: a csatorna állapotától függ, hogy egy adott pillanatban milyen modulációval, milyen hibavédő kódolással küldik az adatot: a hasznos átviteli sebesség is a csatornától függ

- Szervezett és véletlen (versenyzéses) közeghozzáférés
 - hasonló fogalom: multiplexelés
- Szervezett: frekvenciaosztásos, időosztásos, kódosztásos hozzáférés
 - az egyes felhasználók egy frekvenciasávot, egy időszeletet vagy egy speciális jel-transzformációt jellemző kódot kapnak
- Véletlen:
 - ALOHA: felhasználó akkor ad, amikor akar, ütközés lehet, ütközés esetén véletlen várakozás után újra próbálkozás
 - vivőérzékeléses (CSMA) eljárások: adás előtt az állomás belehallgat a csatornába, ha nincs másik adás, akkor próbál adni



A beszéd-től a rádióhullámig

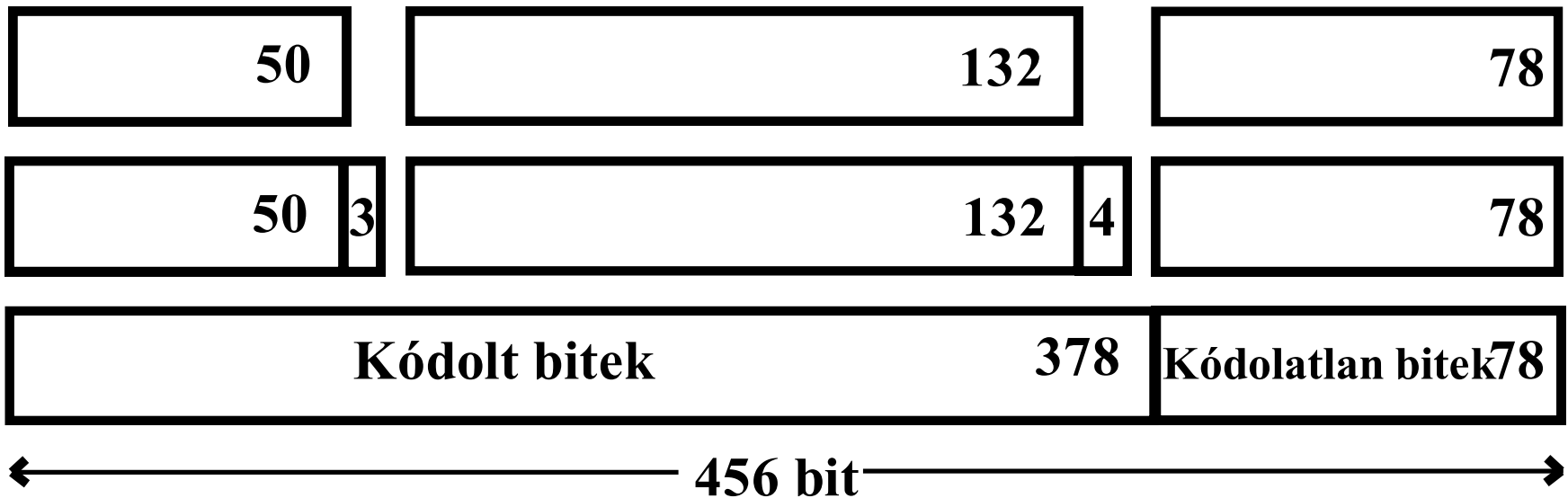
A BESZÉDTŐL A RÁDIÓHULLÁMIG



- „Élő beszéd” paraméterei:
 - kb.12 kHz-es sávszélesség
 - 100 dB-es dinamika (suttogástól a kiabálásig)
 - 20 bit-es felbontás és 24 kHz-es mintavétel:
480 kbit/s
- „Érthető beszéd” paraméterei:
 - sávszélesség 300 Hz-3400 Hz (PSTN)
 - dinamika: 50 dB
 - 8 bites felbontás és 8 kHz mintavételi ráta: 64 kbit/s

- Csatornakódolás – beszéd esetén:
 - A beszédkódoló 20 ms-onként 260 bitet szolgáltat (13kb/s)
 - 50 bit „nagyon fontos” (type 1a) + 3 bit CRC
 - 132 bit „fontos” (type 1b) + 4 nulla (konv.kódoló)
 - 78 bit egyéb (type 2)
- 189 fontosból $r=1/2$, $k=5$ konv. kódoló $\Rightarrow$ 378 bit (+ a változatlan 78) $\Rightarrow$ **456 bit/20 ms = 22,8 kb/s**
- $456 = 8 \times 57$, ez nyolc félbörsztben megy át $\rightarrow$ interleaving van, ezért nem kerül egy börsztbe
- Beszédkésleltetés = $8 \times 4,615 \text{ ms} + 20 \text{ ms} = 57 \text{ ms}$

- Beszéd esetén:



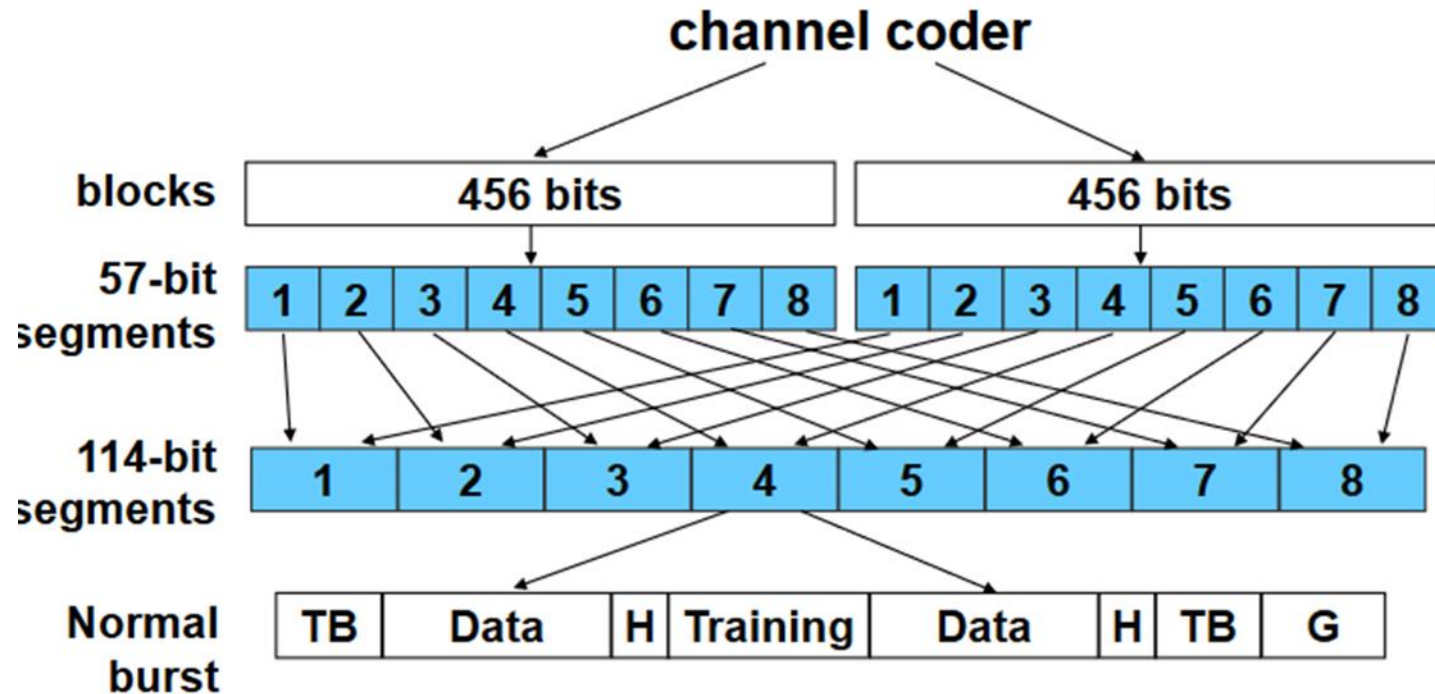
- Csatornakódolás – kontroll csatornák esetén:
 - 184 bites egységek + 40 bit CRC + 4 bit 0
 - ez megy a konvolúciós kódolóba → 456 bit

- TCH adat esetén:
 - 240 bites egység → 240 bit blokk kódolás + 4 bit 0
 - 244 → 488 bit konvolúciós kódolás
 - 32 bit törölve ($C(11 + 15j)$ for $j = 0, 1, \dots, 31$) → 456 bit

- **kontrol csatorna:** a 456 bitből 8 db 57 bites blokk kerül kialakításra:
 - 1. blokk: (0, 8, 16, ..., 448) bit,
 - 2. blokk: (1, 9, 17, ..., 449) bit,
 - ... ,
 - 8. blokk: (7, 15, 23, ..., 456) bit
 - az első négy blokk bitjeit 4 börszt páros, a második négy blokk bitjeit ugyanazon 4 börszt páratlan pozíciójú bitjei viszik át
- **beszéd:** blokkok ugyanúgy, de az első 4 blokk bitjei 4 börszt páros pozícióira kerülnek, a következő 4 blokk bitjei a következő 4 börszt páratlan pozícióira
- **adat:** 16 db 24 bites, 2-2 db 18, 12 és 6 bites blokk; ezek 22 börsztben szétosztva
 - a két 6 bites kerül az 1. és 22. börsztbe, a 12-esek a 2. és 21., a 18-asok a 3. és 20. börsztbe, a többi a többibe. Minden börszt 4 v. 5 adatblokkból visz adatot.

BURST ASSEMBLING (GSM)

- **kontrol csatorna** ($2 \times 57 = 114$ – normál börszt adat része)





Számolási példák



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK



A man in the foreground is holding a white HTC smartphone, taking a photo of a woman in the background. The woman is smiling and looking towards the camera. They are outdoors, possibly at a social gathering or event, with trees and a clear sky in the background. The scene is brightly lit, suggesting daytime.

MOBILHÁLÓZATI ÉRDEKESSÉGEK

DR. MRÁZ ALBERT, NAGY CSABA
MAGYAR TELEKOM
VEZETÉKNÉLKÜLI SZAKÉRTŐK

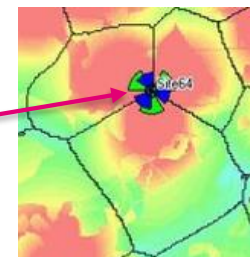
2020. november 5.
BME, MOBIL KOMMUNIKÁCIÓS HÁLÓZATOK, GYAKORLATI ANYAG



EGYÜTT. VELED

GYAKORI FOGALMAK A MOBIL ÁLLOMÁSKÖRÜL

- **„site”**: az a **helyszín**, fizikai felépítmény (épített torony, templomtorony, víztorony, háztető, padlástér stb.) ahol elhelyezzük a bázisállomások elemeit (antenna, RRU stb.)
- **cella**: adott *technológia* (2G, 3G, 4G, 5G) szerint és meghatározott *frekvenciasávban* működő, a maghálózatba bekötött, alapsávi- és rádiós egységgel (pl. RRU) „meghajtott” antennából kisugárzott jelek segítségével, (legtöbbször) meghatározott **minimális vett teljesítménnyel lefedett területet(!)** jelenti. (pl. LTE-ben az RSRP szerint)
- **szektor**: egy adott site-on az **azonos irányban** felszerelt antennák által meghatározott **cellák csoportja**.
- **két (vagy több) cella határa**: azon pontok által meghatározott **görbe**, amely pontokban **két**, földrajzilag általában egymáshoz a legközelebb álló **cella** antennája által **kisugárzott rádiós jelek azonos teljesítménnyel**, vagy **azonos SINR** szerint **vehetők** az egyes pontokban elhelyezhető rádiós vevőeszközzel. **Megjegyzés**: a cellahatárokat a gyakorlatban számítással, erre a célra használatos tervezőprogrammal határozzuk meg.
- **„layer”**: **Frekvenciasáv-technológia páros** (Pl. „L800”: LTE technológia a 800 MHz-es B28 4G sávra telepítve: (lehet még, G900, L1800, L2600, U2100, NR3500 stb.). Egy site jellemzésekor általában a hozzá tartozó layereket és azok irányait soroljuk fel.
- A jobb oldali ábrán éppen 3 db cella látható, amelyek a zöld színű antennákhoz tartoznak



LÁTOGASSUNK MEG EGY „SITE”-OT!

Nagy Csaba, rádiós szakértő virtuális bemutatója személyes site bejárás helyett

(a fotó egy korábbi, BME hallgatók számára rendezett Telekomos nyílt napon készült az egykori Szerémi úti épület tetején.)



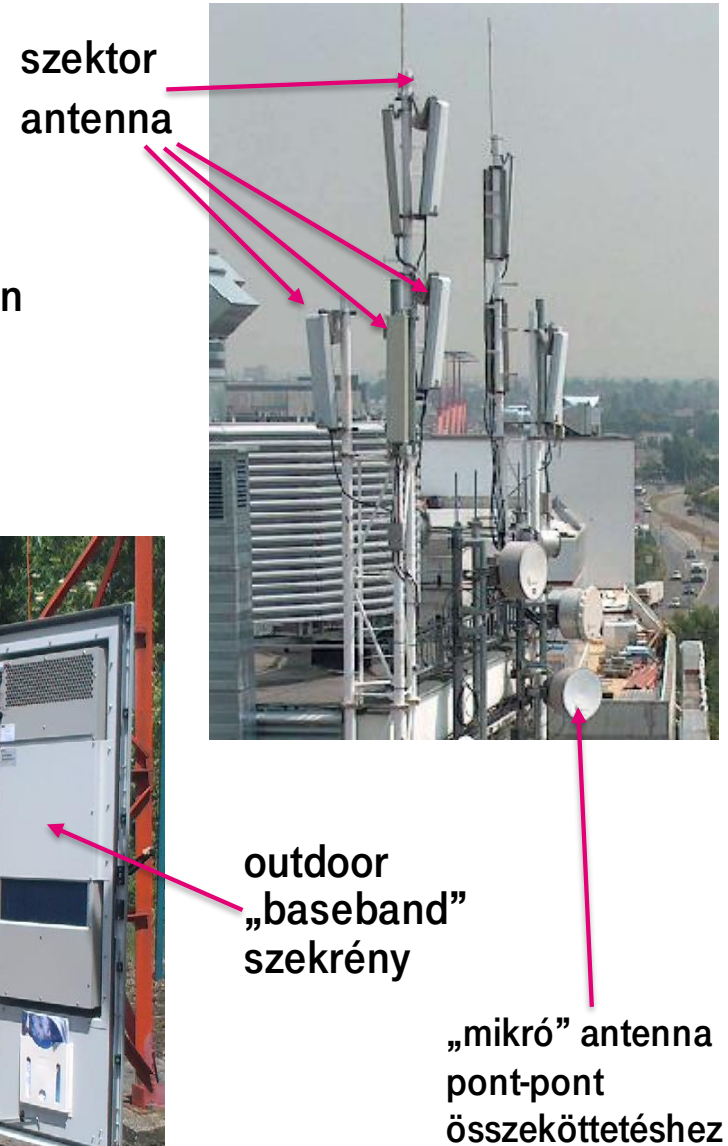
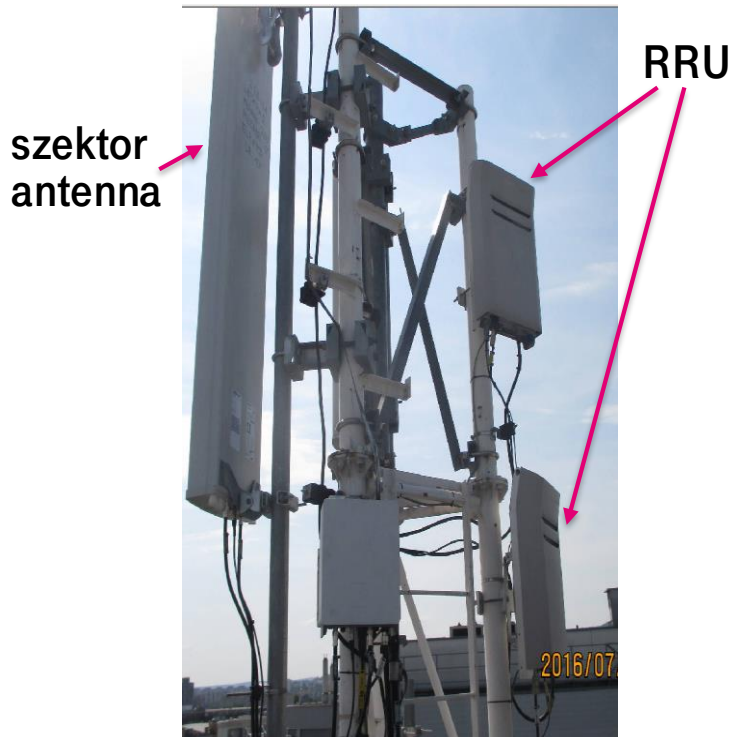
SITE EVOLÚCIÓ: A KEZDETEK

- „**omni-antennák**”: vagyis körsugárzó antennák
- „**makró keret**”: nagyméretű szekrény: baseband+”rádió” külön szekrényben
- **réz „feederek”**: a sok „nehéz” kábel „megy fel” a toronyba minden egyes antennához (erről beszéltünk az előadáson)



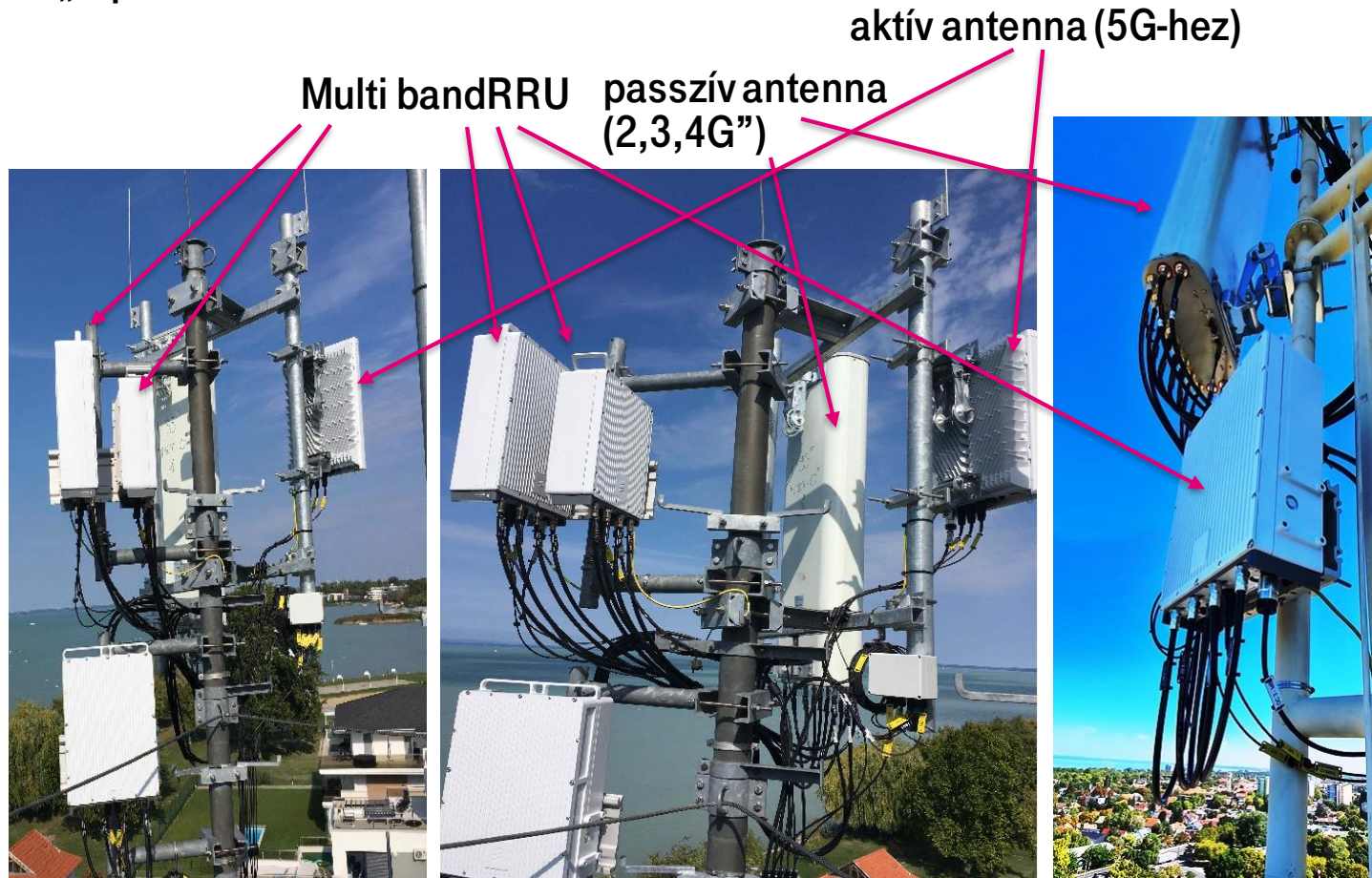
SITE EVOLÚCIÓ: 2. FÁZIS

- **Már szektor antennák vannak:** általában 120 fokkal elforgatva (bal oldali ábra)
- De még minden frekvenciához külön antenna tartozik
- **Single RRU:** a „rádió” már fent van a toronyban. Minden frekvenciához tartozik egy-egy RRU (középső ábra)
- **Kisebb „baseband szekrény”:** Mivel a rádió (RRU) már nincs itt, ezért kisebb a mérete.



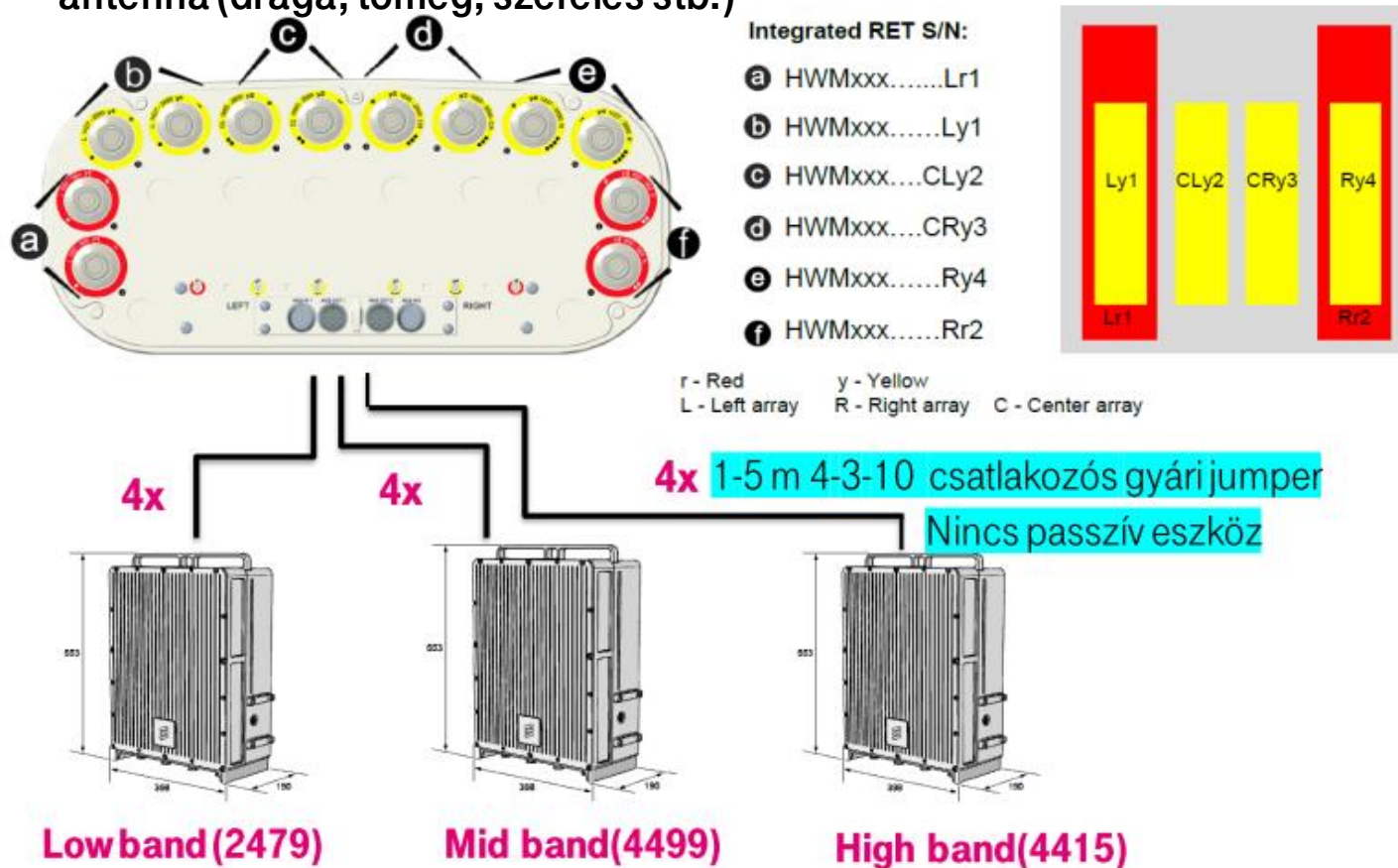
SITE EVOLÚCIÓ: 3. FÁZIS

- **Multi-band szektor antenna:** már nem kell minden frekvenciasávhoz külön antenna
- **Multi band RRU-k:** az RRU is tud egynél több antennát/frekvenciát „táplálni”



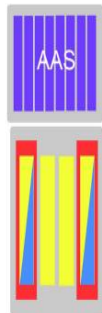
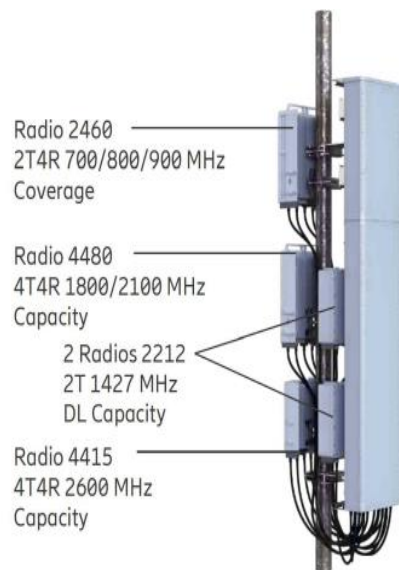
SITE EVOLÚCIÓ: 3. FÁZIS FOLYT.

- **Multi-band RRU:** Elég „sávcsopontonként” (low-band, mid-band, high-band) egy-egy RRU. Vagyis nem kell minden sávhoz külön RRU.
- **Multi-band szektor antenna:** a különböző sávokat a különböző színek szerint kötjük be a multi-band antennába az RRU-ból. Nem kell olyan sok antenna (drága, tömeg, szerelés stb.)



SITE EVOLÚCIÓ: 4. FÁZIS

- **Hibrid antenna:**
 - Közös antennán belül van aktív és passzív antenna



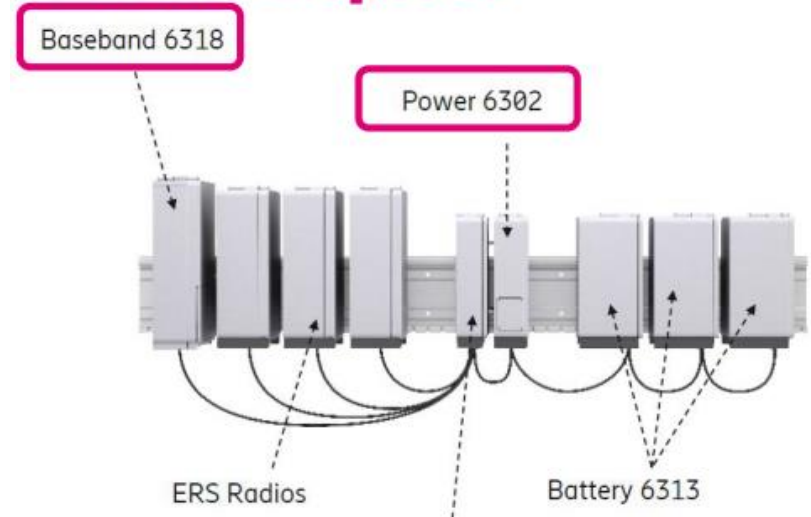
Frequencies
R1/R2: 698 – 960 MHz
B1/B2: 1427 – 2180 MHz
Y2/Y3: 1695 – 2690 MHz
Y1/Y4: 2490 – 2690 MHz
32 x 3300 – 3800 MHz TDD active
Dimensions (HxWxD)
2200 x 488 x 164 mm

SITE EVOLÚCIÓ: 5. FÁZIS

- Az antenna mellé kerülnek további elemek:
 - mini baseband-ek
 - a tápellátás a kisebb veszteség miatt (illetve akkumulátorok is)
- Ez még mindig a jövő (2020 nov. 5.).
- Megjegyzés: a BBU hotel (bázisállomástól távol elhelyezett baseband-ek csoportja) jelenleg nincs látókörön belül.



Zero footprint



MOBIL FREKVENCIASÁVOK MAGYARORSZÁGON

Band No.	technology	frequency [MHz]	UL band	DL Band	Duplexity	usage
B28	4G	700	703 MHz - 748 MHz	758 MHz - 803 MHz	FDD	coverage of large areas
N28	5G	700	703 MHz - 748 MHz	758 MHz - 803 MHz	FDD	coverage of large areas
B20	4G	800	832 MHz - 862 MHz	791 MHz - 821 MHz	FDD	coverage of large areas
N20	5G	800	832 MHz - 862 MHz	791 MHz - 821 MHz	FDD	coverage of large areas
B8	4G	900	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD	coverage of large areas
N8	5G	900	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD	coverage of large areas
B32	4G	1500	N/A	1452 MHz - 1496 MHz	SDL	capacity mid-band
N75	5G	1500	N/A	1432 MHz - 1517 MHz	SDL	capacity mid-band
B3	4G	1800	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD	capacity mid-band
N3	5G	1800	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD	capacity mid-band
N80	5G	1800	1710 MHz - 1785 MHz	N/A	SUL	capacity mid-band
B1	4G	2100	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD	capacity mid-band
N1	5G	2100	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD	capacity mid-band
UTRA band 1	3G	2100	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD	capacity mid-band
B40	4G	2300	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD	capacity mid-band
N40	5G	2300	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD	capacity mid-band
B7	4G	2600	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD	capacity mid-band
N7	5G	2600	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD	capacity mid-band
N78*	5G	3500	3300 MHz - 3800 MHz	3300 MHz - 3800 MHz	TDD	5G pioneer band
N258	5G	26000	24250 MHz - 27500 MHz	24250 MHz - 27500 MHz	TDD	

A RÁDIÓS CSATORNA TULAJDONSÁGAI

- Ha a kapacitást akarjuk növelni, akkor legjobban a nagyobb sávszélességgel érdemes. Miért?

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{|H|^2 P_{jel}}{P_{zaj}} \right)$$

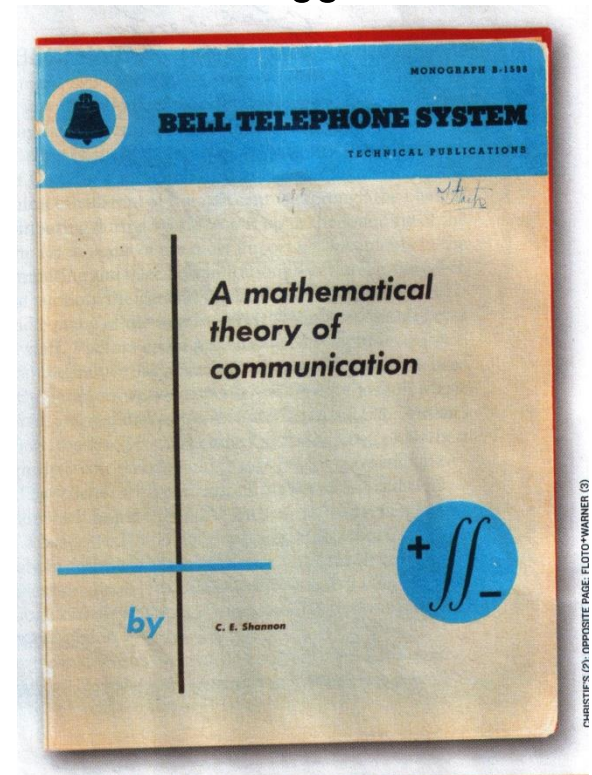
sávszélesség

Kapacitás [bit/sec]

a rádiós csatorna csillapítása

adóteljesítmény

Jel-zaj/viszony

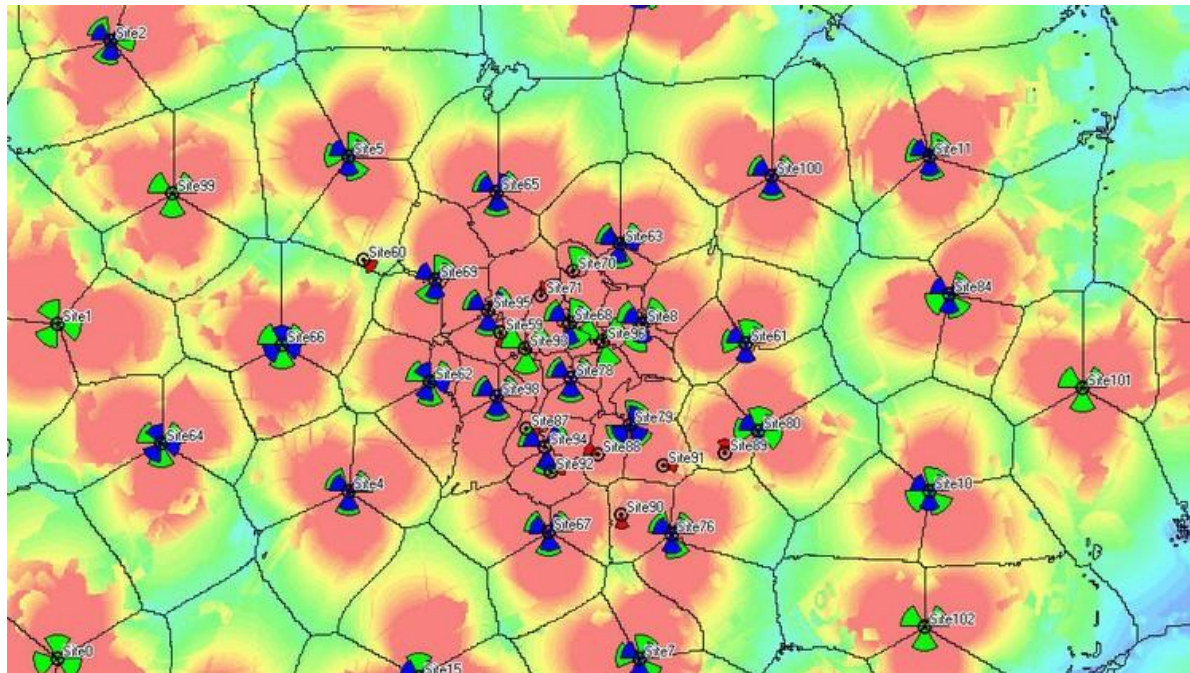


A kapacitás a sávszélességtől lineárisan függ a
logaritmikus (teljesítmény) helyett ->

Ezért inkább sávszélességet növeljünk, mint teljesítményt!

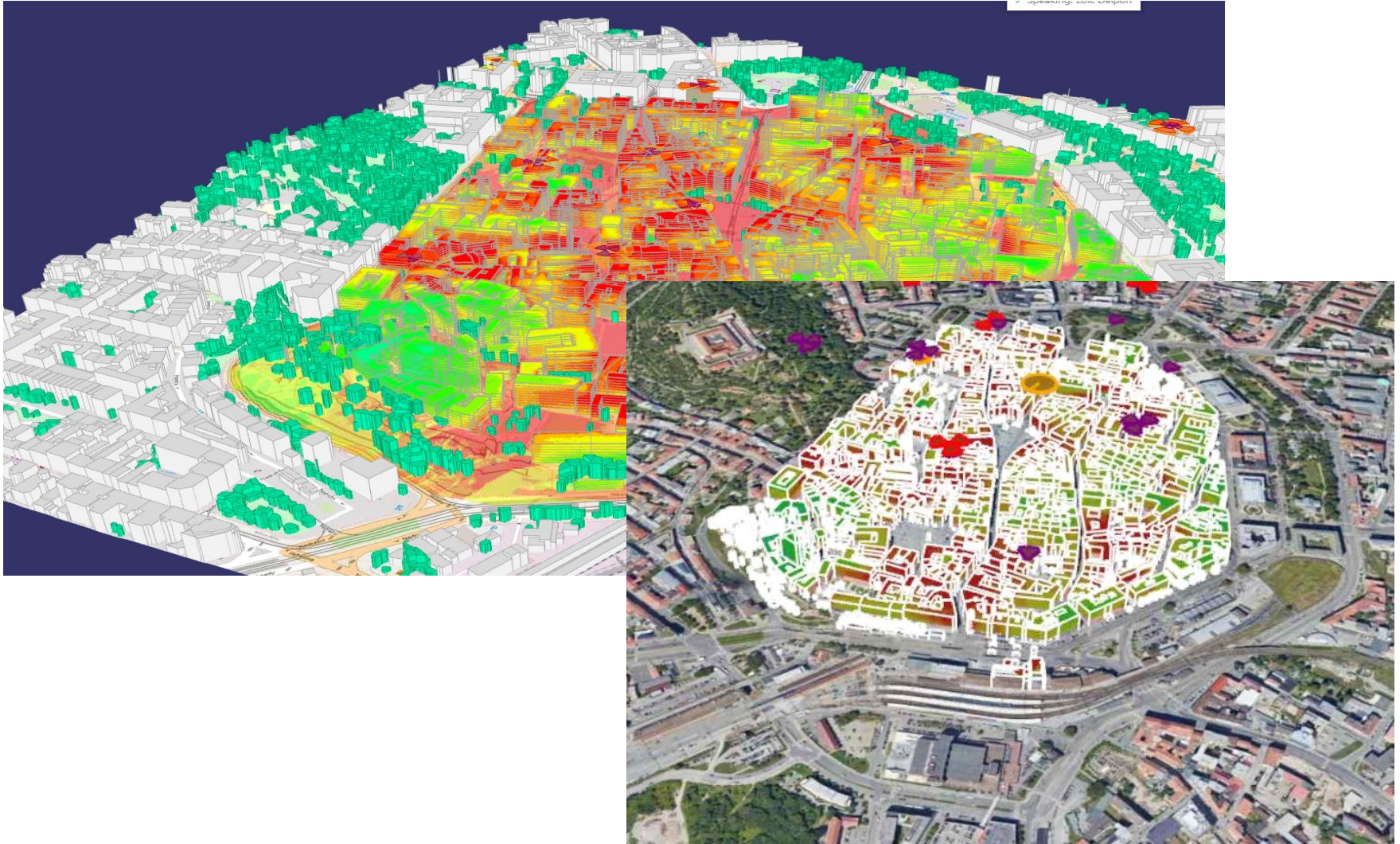
MIT MUTAT A RÁDIÓS TERVEZŐPROGRAM?

- Klasszikus 2D lefedettség-vizsgálat min. RSRP, vagy min. bitsebesség szerint. Vagyis: a terület (pont) lefedettnek minősül, ha teljesül a min. RSRP teljesítmény, vagy a min. bitsebesség érték. Eszerint rendelünk hozzá szint. (vagy akár csak 0-1 logikai értékeket)
- Az egész országra kirajzoljuk az alábbi térképet.
- Különböző cellákat láthatunk a vonalakkal körülhatárolva.
- Kétféle (általános) layert láthatunk az ábrán (zöld, kék). A zölddel jelölt layerhez tartozó antennák szerint rajzoltattuk ki a cellákat.



MIT MUTAT A RÁDIÓS TERVEZŐPROGRAM?

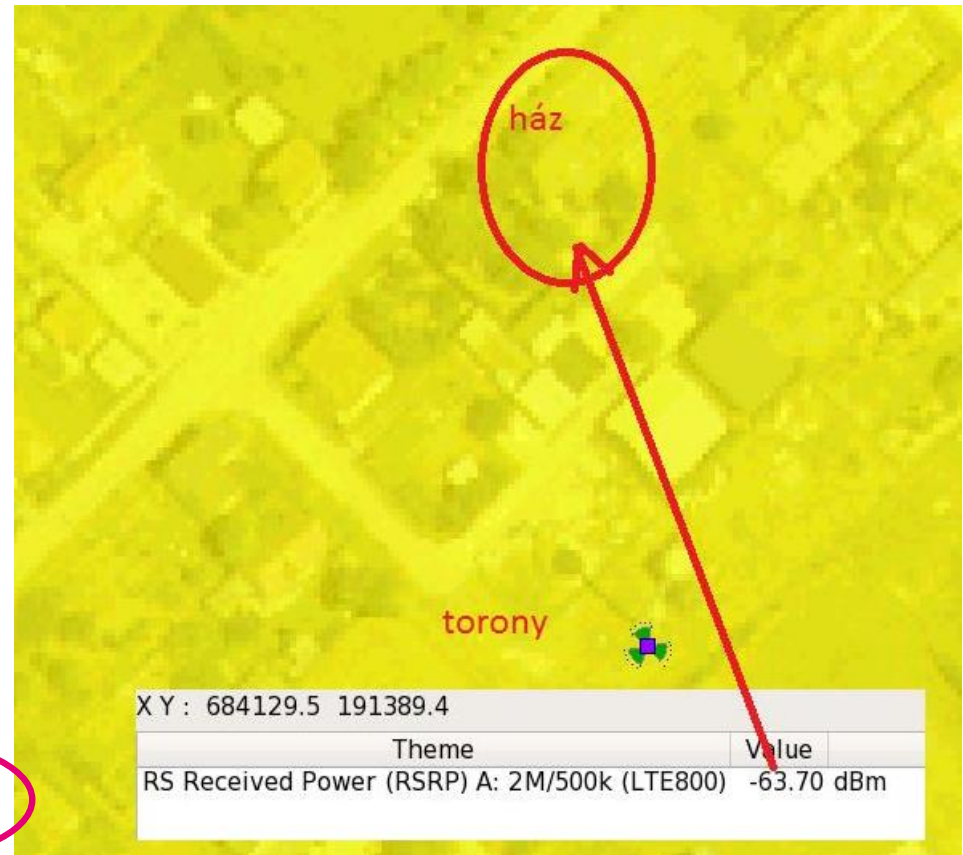
- 3D lefedettség-vizsgálat, épületadatbázis figyelembevételével



MENNYIRE „FÉLELMETES” EGY BÁZISÁLLOMÁS?

- Saját számítás egy konkrét bázisállomás **DL vett jelének teljesítményére**
- A bázisállomás távolsága a vizsgált pontból: 60 m
- A számítás adatai

RSRP a vizsgált pontban [dBm]	-63,70
a jel összteljesítménye a vizsgált pontban [dBm]	-32,91
a jel összteljesítménye a vizsgált pontban [mW]	0,000512
telefon kisugárzott teljesítménye közvetlenül a koponyánál UL irányban [dBm]	23,00
telefon teljesítmény a fejnél [mW]	199,53
A közvetlenül a fejhez tartott telefon sugárzása ennyiszor erősebb a fejnél, mint a torony vett teljesítménye	389 779



5G/NB IOT LEHETSÉGES FELHASZNÁLÁSAI



Házon belüli helymeghatározás

- Mobil eszközök navigálása 1 méter alatti pontossággal



Kiterjesztett valóság a sportban

- Nézd a meccset egy játékos vagy akár a labda szemszögéből! 😊
- Lehetséges bármilyen egyedi nézőpont definiálása is

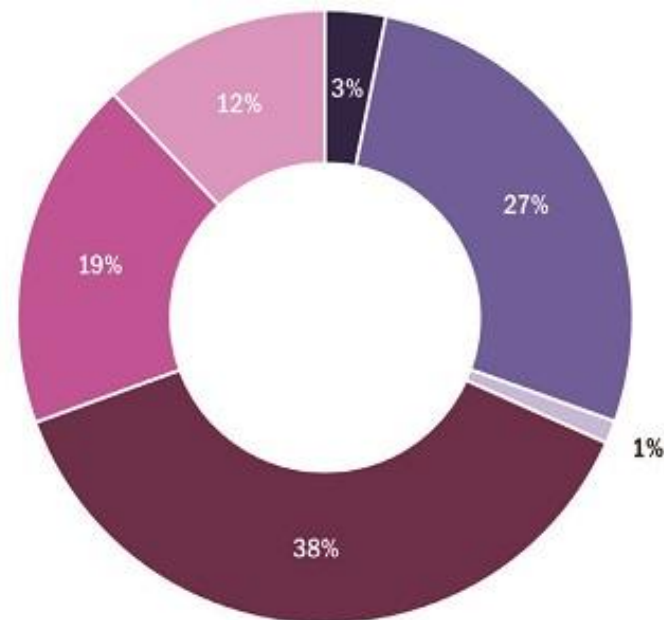
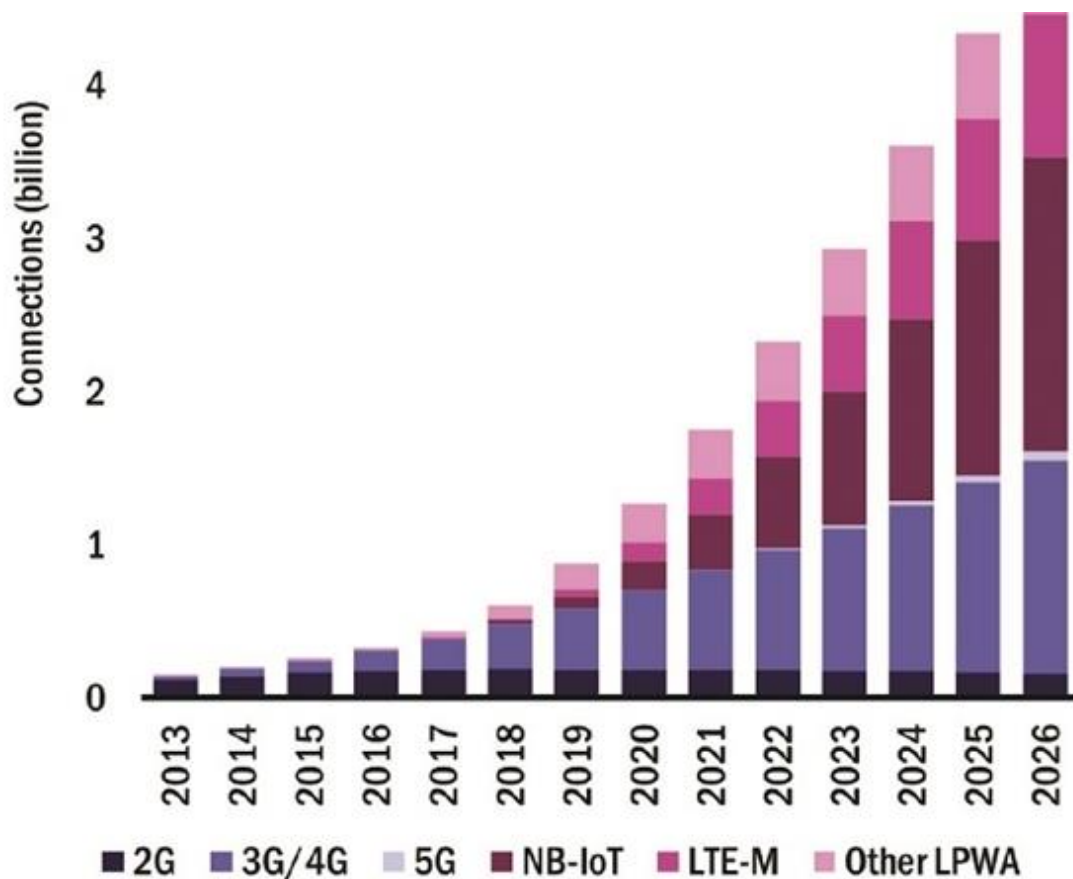


Kiterjesztett valóság a karbantartásban

- Közvetlen segítség szakembereknek
- Megelőző figyelmeztetések az hibák elkerülésére

AZ IOT ESZKÖZÖK TÖMEGES ELTERJEDÉSE VÁRHATÓ

NB-IOT és LTE-M lesz a következő évek domináns technológiája (2026-ban ~60%)



■ 2G ■ 3G/4G ■ 5G ■ NB-IoT ■ LTE-M ■ Other LPWA

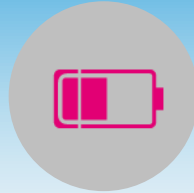
Share of worldwide connections by network type, 2026

IOT RENDSZEREKKEL SZEMBENI ELVÁRÁSOK



LOW DATA RATES

600 bit/s -250 kbit/s (*)



LOW POWER CONSUMPTION

10 év elem élettartam (AA elem)



LOW COST

Olcsó eszközök (<€4**)



DEEP INDOOR PENETRATION, EXTENDED COVERAGE

+20dB link budget
GSM-hez képest



STANDARDIZED

3GPP Release 13



LTE BASED SECURITY

SIM alapú autentikáció, titkosítás...



HIGH NUMBER OF DEVICES

~100 000 eszköz/cella



PUBLIC NETWORK

Licenszelt spektrum



DEEP INDOOR PENETRATION, EXTENDED COVERAGE

Kétirányú kommunikáció
(Software Updates Possible)

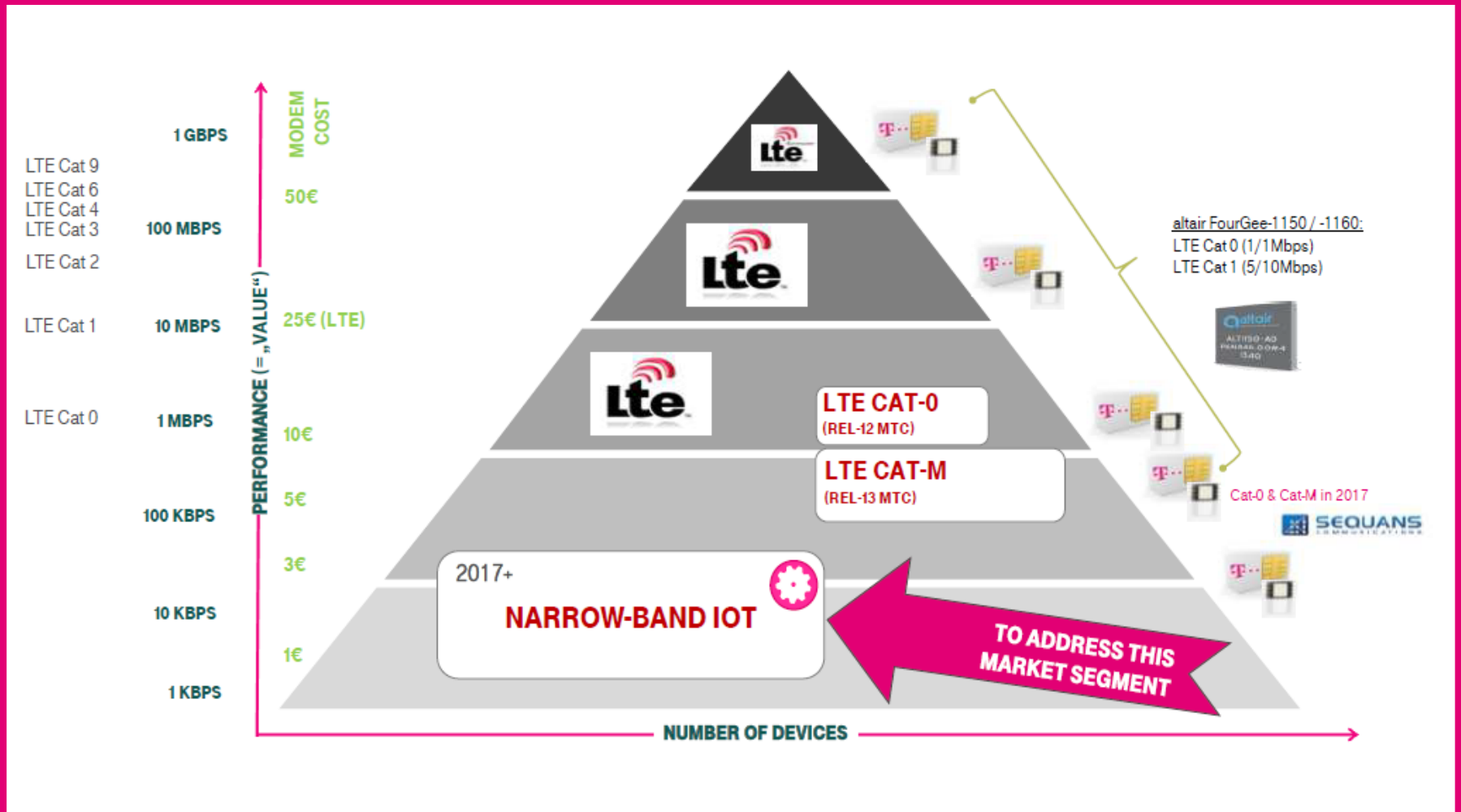


EASE OF USE

Direkt használat, nincs szükség pl.
HUB-okra

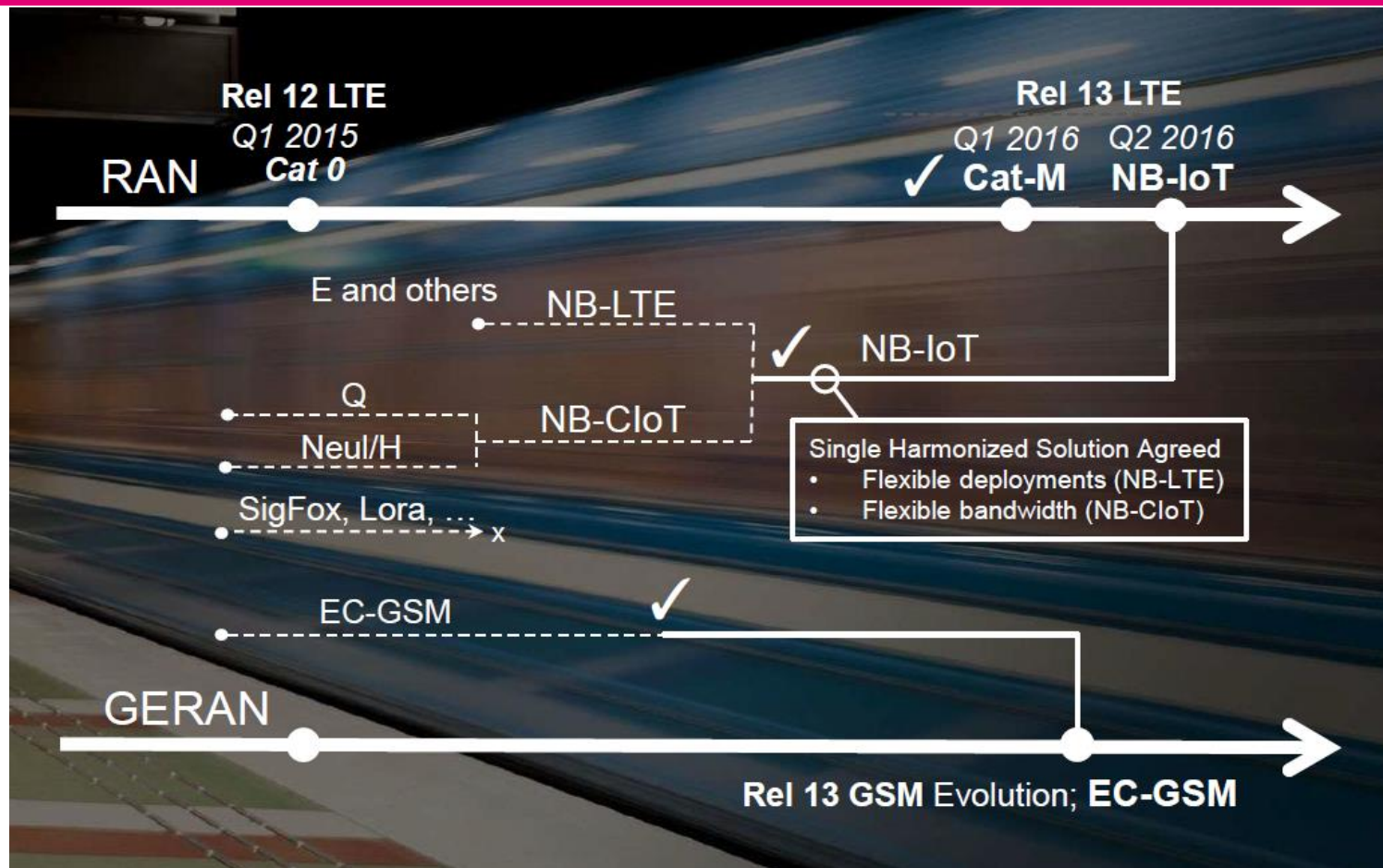
NB-IOT: TÖMEGES IGÉNYEKET OLCSÓN MEGVALÓSÍTÓ TECHNOLOGIA

NB-IOT: SOK ESZKÖZ, KIS ADATMENNYISÉG ÁTVITELÉHEZ IGAZODIK



NB-IOT SZABVÁNYOSÍTÁS: 2016 JÚNIUS

NB-IoT: 3GPP által szabványosított technológia

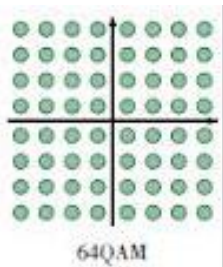


Forrás: Ericsson

ESZKÖZÖK KÖZÖTTI KOMMUNIKÁCIÓ 3GPP TECHNOLÓGIÁI

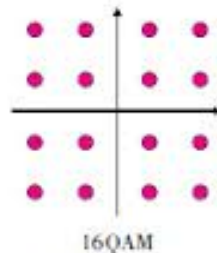
LTE-Cat0

- Sávszélesség: 20 MHz
- Max távolság: 100km
- Szakaszcsillapítás: 144dB
- Moduláció: 64QAM
- Adatátviteli sebesség: 1 Mbps
- Lefedettség: GSM-el megegyező



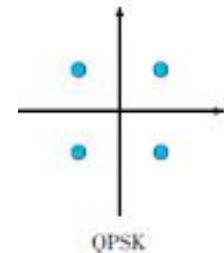
LTE-CatM

- Sávszélesség: 1,4MHz
- Max távolság: 100km
- Szakaszcsillapítás: 156dB
- Moduláció: 16QAM
- Adatátviteli sebesség: 1 Mbps
- Lefedettség: GSM + 15dB-



NB-IoT

- Sávszélesség:
 - GSM: 200kHz
 - LTE: 180kHz
- Max távolság: 35km
- Szakaszcsillapítás: 164dB
- Moduláció: QPSK
- Adatátviteli sebesség: ~200 kbps
- Lefedettség: GSM + 20dB

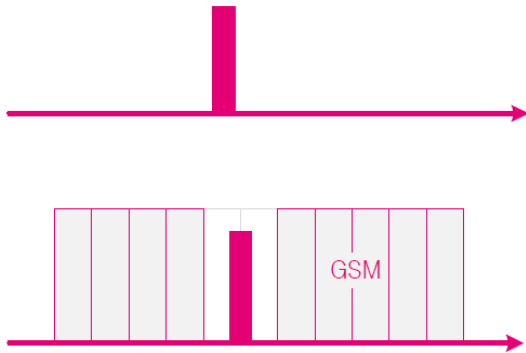


Deep indoor coverage

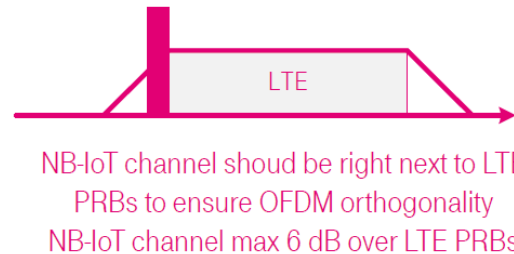
NB-IOT RÁDIÓS MEGVALÓSÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

In-band solution a preferált

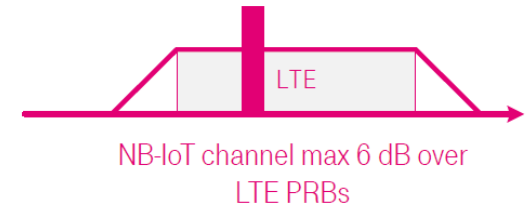
STAND-ALONE



GUARD-BAND



IN-BAND

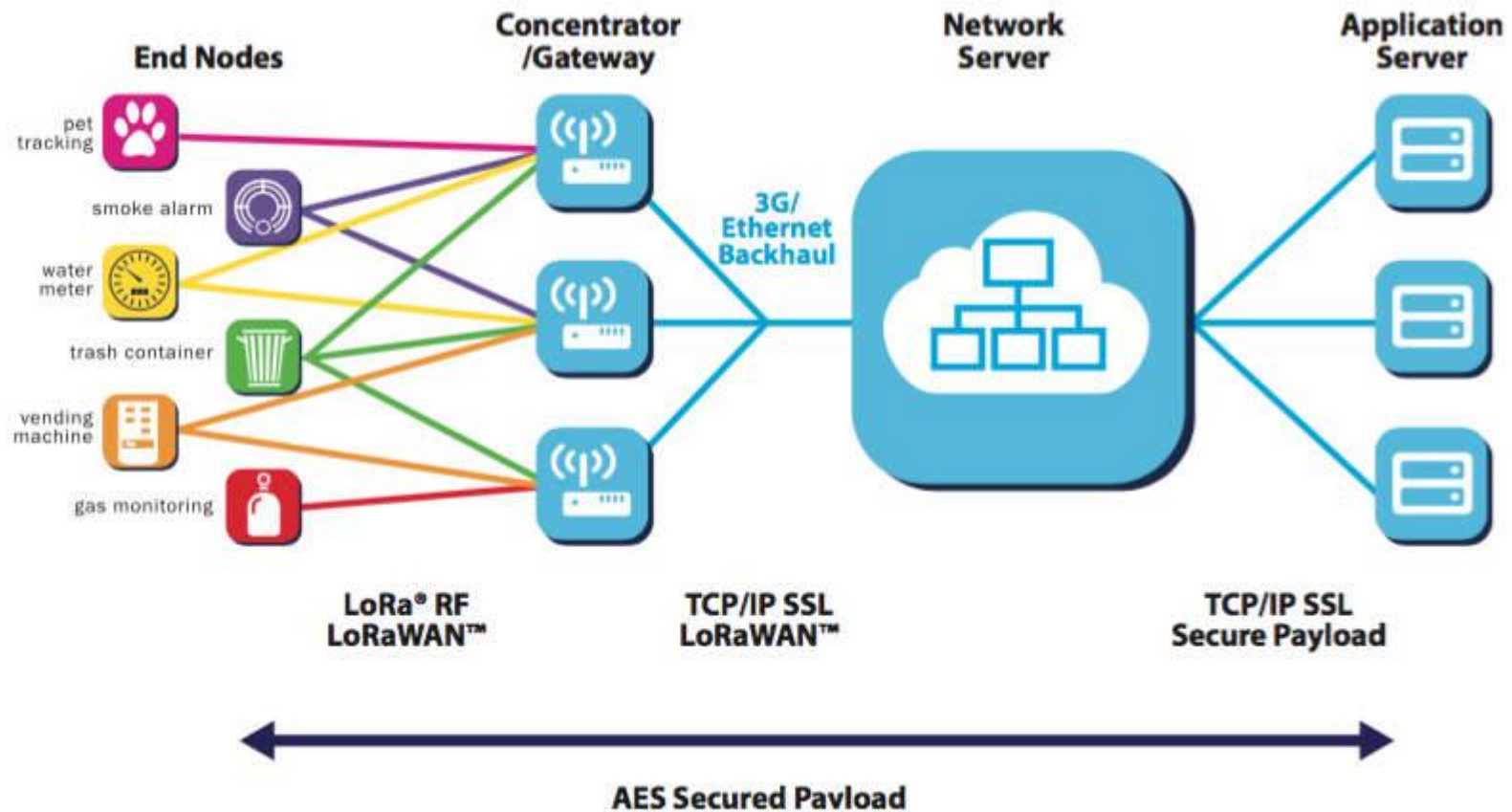


LORA



- **Eredet: Franciaország**
- **LoRa Alliance:**
 - Nyílt Nonprofit egyesület
 - LPWN-eket építő vállalatokat foglal magába (különböző méretűeket)
 - **A Semtech chipgyártó kezdeményezésére született.**
 - Sok kiépített networköt szeretnének a chip eladásokhoz
 - **Zárt szabvány: Csak a Semtech chip-et lehet használni.**
 - A cellás rendszer neve: Lora Wide Area Network Protocol: **LoRaWAN**
 - Frekvencia:
 - Nem licenszelt sávok (433 ill. 868 MHz) -> **Interferencia!!!**
 - **Előny: nincs sávdíj!**
 - Működéssel kapcsolatos (hatósági) megkötés: **az idő 1%-ában sugározhat!!!**

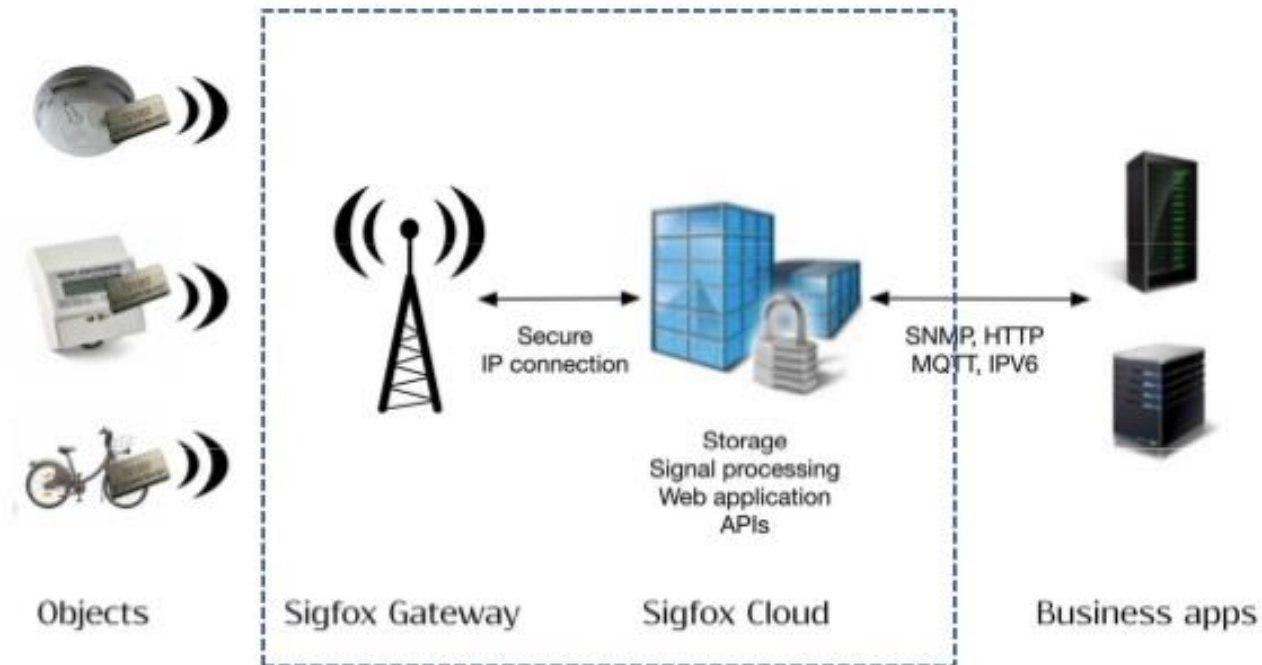
LORA (ARCHITEKTÚRA)



- **Eredet: Franciaország**
- Nagyon alacsony throughput
- A protokoll nyitott, de csak a Sigfox networkon lehet használni
- Sigfox ready modul kell (egyetlen cég gyárt ilyen eszközöket)
- Hálózat építés:
 - Franciaország GSM-szerű lefedéséhez 1200 db base stationra van szükség (50 000 db GSM-hez képest)
 - Globális lefedés: <http://www.sigfox.com/en/coverage>
- Frekvencia:
 - Nem licenszelt sávok (433 ill. 868 MHz) -> **Interferencia!!!**
 - **Előny: nincs sávdíj!**
- Működéssel kapcsolatos (hatósági) megkötés: **csak 6 db üzenetet küldhetünk egy órában (144 db üzenet egy nap)**

SIGFOX (ARCHITEKTÚRA)

Topology



Countrywide networks being installed around the world



VERSENGŐ CELLÁS IOT TECHNOLÓGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

szempont/techn.	LTE-M	NB-IoT	LoRa	Sigfox
Alacsony telj.	0	0	0	0
sávszélesség	0	0	0	0
nyílt szabvány	0	0		0
szállítók köre	0	0	0	0
biztonság	0	0	0	0
Telepítések		0	0	0

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!!!

