

Hálózattervezés

Mobil rádióhálózatok tervezése

Óravázlat

Fazekas Péter

1. óra

- 2011 március 21

Bevezetés, motivációk

- Mobil hálózatok sikere
 - Ma Mo. minden 3. szélessávú internet előfizető mobil
 - Ma minden lakosra több mint egy (alapvetően beszédcélú) mobiltelefon előfizetés jut Mo-n
 - A GSM a legelterjedtebb technológia a világon (kb. 4.5 milliárd használó)

Bevezetés

- Hogyan néz ki a hálózat általában (kép)
 - A cellás elv –volt, Pap? Miért ilyen a hálózat
 - Hálózat 2G/3G -
 - Hálózat LTE: ábra, berendezések
 - Közeljövő: femto + utcai makró/mikró (rokonság a mai hálózattal)
- Mi teszi egyedivé/mássá a tervezési feladatot
 - Mobilitás (következményei: extra jelzésinfó, ill megfelelő minőség kell)
 - Csatorna
 - Rossz, zajos, időben változó, sztochasztikus
 - Osztott
 - Csatorna megosztás <-> egyedi user mit lát
 - Biztonság
 - Jelzésinfó, hasznos adat

A tervezési feladat

- Kétféle követelmény van:
 - Lefedettségi követelmény
 - Rádiós lefedettség:
 - Vezérlőcsatornák vétele lehetséges
 - GSM: beszédcsatorna átvitele lehetséges (<-> vezérlőcsatorna)
 - Vett jelszint egy bizonyos érték felett legyen (vehető jelteljesítmény), vagy a jel/zaj viszony (jel-zaj-int. Viszony definíciója)
 - „minőségi lefedettség” (3G, 4G) – átviteli sebesség
 - User átviteli sebességre koncentrálni
 - Meghatározza: csatornaminőség (jel-zaj viszony -> Shannon)
 - » Meghatározza még: a forgalom (hányan vagyunk?)
 - Cellahatáron elérhető user átviteli sebesség egy értéket meghaladjon (egyszerűbb: ha egy userre nézzük)
 - Nagy kérdés: user statisztikák (csatornamegosztás) hogyan?

A rádióhálózat tervezés megközelítési módjai

- a rádióhálózat tervezés, építés és üzemeltetés három fő megközelítési szempont szerint vizsgálható
 - rádiós lefedettség
 - átviteli kapacitás
 - átviteli minőség

A rádióhálózat tervezés célja

- **lefedettség:**

- rádiós lefedettség kültérben és beltérben
- teljesítmény-egyensúly BS és MS között
- az adott területen a BS jele mindenhol a vevő érzékenységeinek megfelelő küszöb felett legyen
- különböző területi típusok súlyozása (belváros, külváros, rural, stb.)
- elkerülni a „lyukakat” a lefedettségben

A rádióhálózat tervezés célja

- **kapacitás:**
 - rendelkezésre álló sáv szélesség
 - felhasználó forgalmi profilja
 - forgalomsűrűség különböző területekre
 - átviteli kapacitás biztosítása a várható forgalmi igények kiszolgálására
 - új hívások és handover hívások: a folyamatban lévő kapcsolatok megszakítása kevésbé tűrhető mint az új hívások blokkolása

A rádióhálózat tervezés célja

- **átviteli minőség:**
 - megfelelő vivő/interferencia arány (CIR)
 - azonos csatornás interferencia: ugyanazt a frekvenciát használó másik bázisállomástól
 - szomszédos csatornás interferencia: a bázisállomás által használt csatornák közti áthallás
 - location probability
 - blokkolási valószínűség
 - UMTS/LTE: QoS paraméterek

A tervezési feladat

- Lefedettségi követelmény -> átviteli sebesség követelmény
 - Mo.-n mit jelent a követelmény (80%)
 - Matrix módszer
 - HF. Hogyan lehetne ezt értelmesebben?
- Kapacitás követelmény
 - Adott forgalmi igény a területen (pl. Mbps/km²)
 - Átlag? Eloszlás? Szórás?
 - Lakossági adatbázis alapján (a gyakorlatban nem olyan vészes – lakott területre kell a lefedettség)
 - Hány cella kell és hova
 - Ehhez kell: cellakapacitás (-> GSM: adott volt)

A tervezési feladat

- Kapacitás követelmény
 - Fogalmi méretezés
 - GSM, beszédcsatornák (időrés), blokkolás: Erlang B
 - Blokkolási valószínűség
 - Bonyolultabb hálózatok:
 - többdimenziós rádiós kapacitás, összefüggő
 - Pl. LTE: frekvencia, idő, adóteljesítmény, tér (antenna)
 - A forgalomtól is függ az elérhetősége
 - A rádiós erőforrás menedzsment is nagyban befolyásolja (ütemezés)
 - Pl. Round Robin, max C/I, proportional fair
 - Egy user sebessége, kapacitás
 - Gyak: $R(x,y,t)$ elérhető sebesség

2. óra

- 2011 március 28

A tervezési folyamat

- Bemenet:
 - várható forgalom, forgalom mix, forgalom sűrűség, minőségi igények
 - Hálózati berendezés paraméterek, képességek, illetve konfigurációs lehetőségek
 - Támogatott sáv szélesség, max egyidejű kapcsolatok száma, támogatott ütemezők, max adóteljesítmény, fogyasztás, antenna méretek, antenna karakterisztika, stb.
 - Egyéb szempontok (!)
 - Jelzésátvitel, stb. timing advance
 - Gazdasági szempontok
 - Fizikai korlátok: méret, stb.
 - lakosság

Gazdasági szempontok

- **költségek:**
 - a hálózat költségének (bázisállomások, központok és az átviteli hálózat) minimalizálása
 - hatékony frekvenciakihasználás
- **fejlesztési lehetőségek:**
 - bővíthetőség a forgalom növekedése és ellátott terület növelése esetében
 - a mobil rendszer ésszerű fejlesztése a következő generáció felé

A tervezési folyamat

- Kimenet:
 - Hány bázisállomás
 - Hová (→ antennák hová)
 - Konfigurálható paraméterek beállítása
- Tervezési lépések:
 - Dimenzionálás: mennyit egy területre (→ teljes hálózati dimenzionálás: kb. mennyit adott forgalomnövekményhez, adott időszakra)
 - Rádiós tervezés: pontosan hova, beállítások
 - Ellenőrzés/optimalizáció (helyszíni mérések, részletes statikus és dinamikus szimulációk)

A tervezési folyamat

- Fő munkafázisok kicsit bővebben
 - Dimenzionálás
 - Adott terület és terület típus, adott forgalmi igény a területen
 - Hány cella (hány bázisállomás) szükséges a területre, hogy
 - Valamilyen minőségi követelménynek a hálózat eleget tegyen
 - Cella szélén vehető minimális teljesítményszint
 - Cella szélén elérhető user throughput (→ cella szélén SINR ből)
 - Átlagos cellakapacitás → összes átlagos kapacitás az adott összes forgalomnak megfelelő legyen

A tervezési folyamat

- Fő munkafázisok kicsit bővebben
 - Részletes rádiós tervezés
 - Az egyes bázisállomások pontosan hova kerüljenek
 - (Esetleg) pontosabb rádiós számítások: pontosabb (lassabban kiszámítható) geometriai hullámterjedési modellekkel
 - A bázisállomás paraméterek pontos beállítása: max. adóteljesítmény, szektorsugárzó főiránya, szektorsugárzó függőleges dőlésszöge (downtilt)
 - Kültéri/beltéri ellátottság becslése

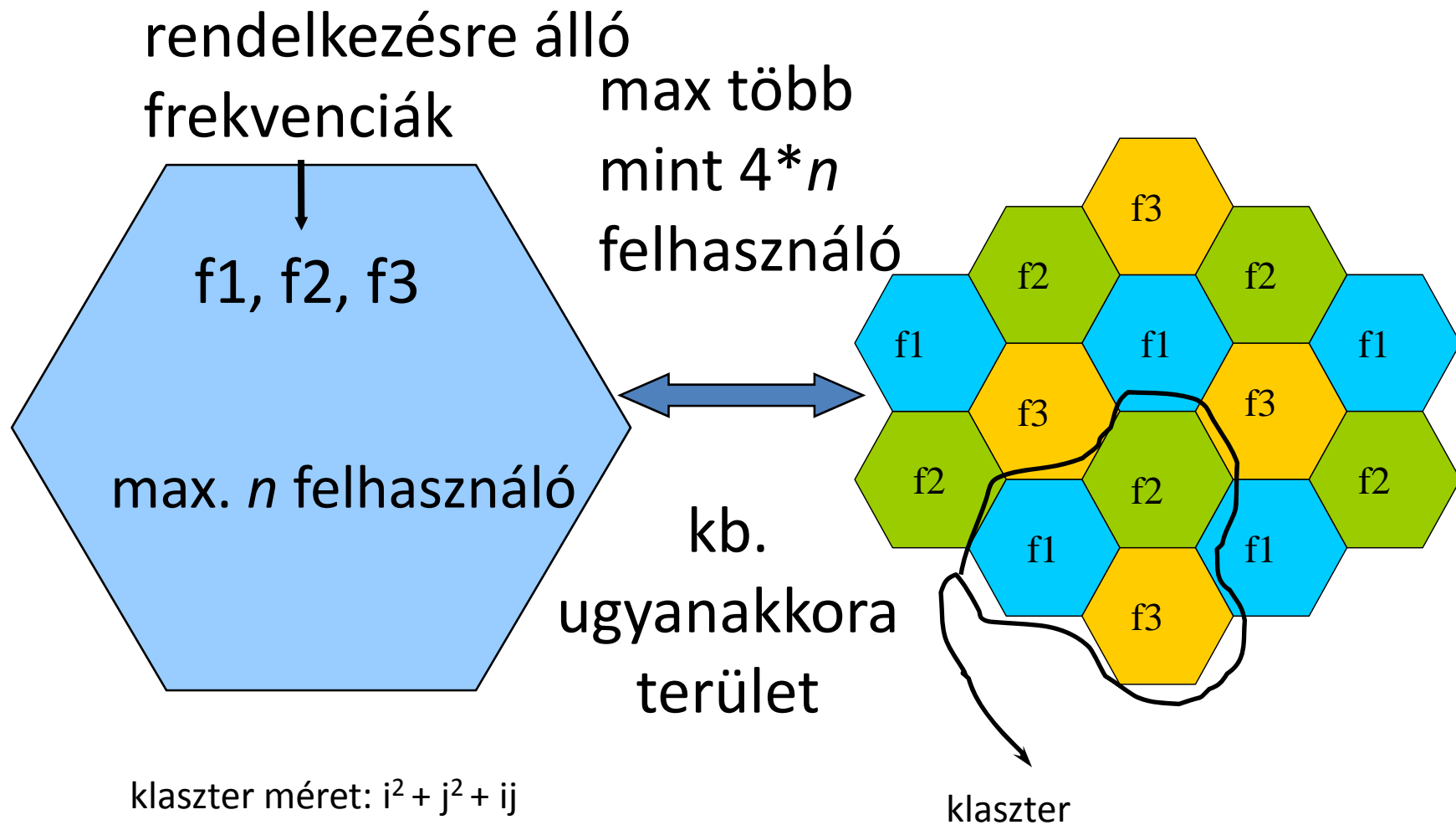
A tervezési folyamat

- Fő munkafázisok kicsit bővebben
 - Ellenőrzés/optimalizáció
 - Alkalmazhatók részletes hálózati szimulációk:
 - Dinamikus: mozgó felhasználók, pontosan modellezett vagy emulált átvitt forgalommal
 - Statikus: véletlenszerűen leszórt statikus felhasználók, a szimuláció eredménye sok leszórás (drop) kiértékelésével
 - Helyszíni lefedettség mérések
 - Tipikusan ügyfélpanasz esetén
 - Részletes rádióhálózati terv módosítása az eredmények szerint, visszacsatolás a részletes tervezési lépésbe

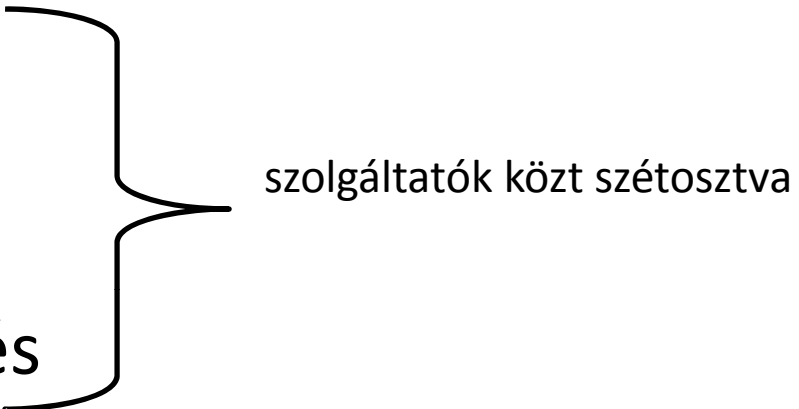
Rádióhálózat típusok

- **A cellás elv:**
 - Cella mint kapacitás-alapegység
 - A rádiós erőforrás egységét (pl. n db GSM vivő) használó terület
 - Szektorsugárzós cella: lefedettség
 - Egy szektor egy cella (mint kapacitás egység)
 - Több szektor (pl. 3 db) egy kapacitásegység, a szektorsugárzók a lefedettség javításáért vannak
 - Sík lefedése, a cellás elv: ábra

Frekvencia újrafelhasználás



GSM alapok

- TDMA/FDMA/FDD
 - FDMA (GSM 900):
 - 890-915 MHz uplink
 - 935-960 MHz downlink
 - 124 db 200 kHz -es sáv
 - TDMA: egy vivőn 8 időrés
 - interferencia viszonyok: azonos csatornás és szomszédos csatornás interferencia
 - max cellaméret: a GSM működéséből következően max. kb. 35 km sugár
- 
- szolgáltatók közt szétosztva

GSM alapok

- **frekvencia újrafelhasználás:** a teljes rendelkezésre álló frekvenciasávokból csak néhányat használnak egy cellában
- ugyanazokat a frekvenciákat ismét használják egy lehető legtávolabbi cellában (interferencia!)
- a teljes rendelkezésre álló spektrumot használó cellacsoport: klaszter
- sokkal több felhasználó kiszolgálható

UMTS alapok

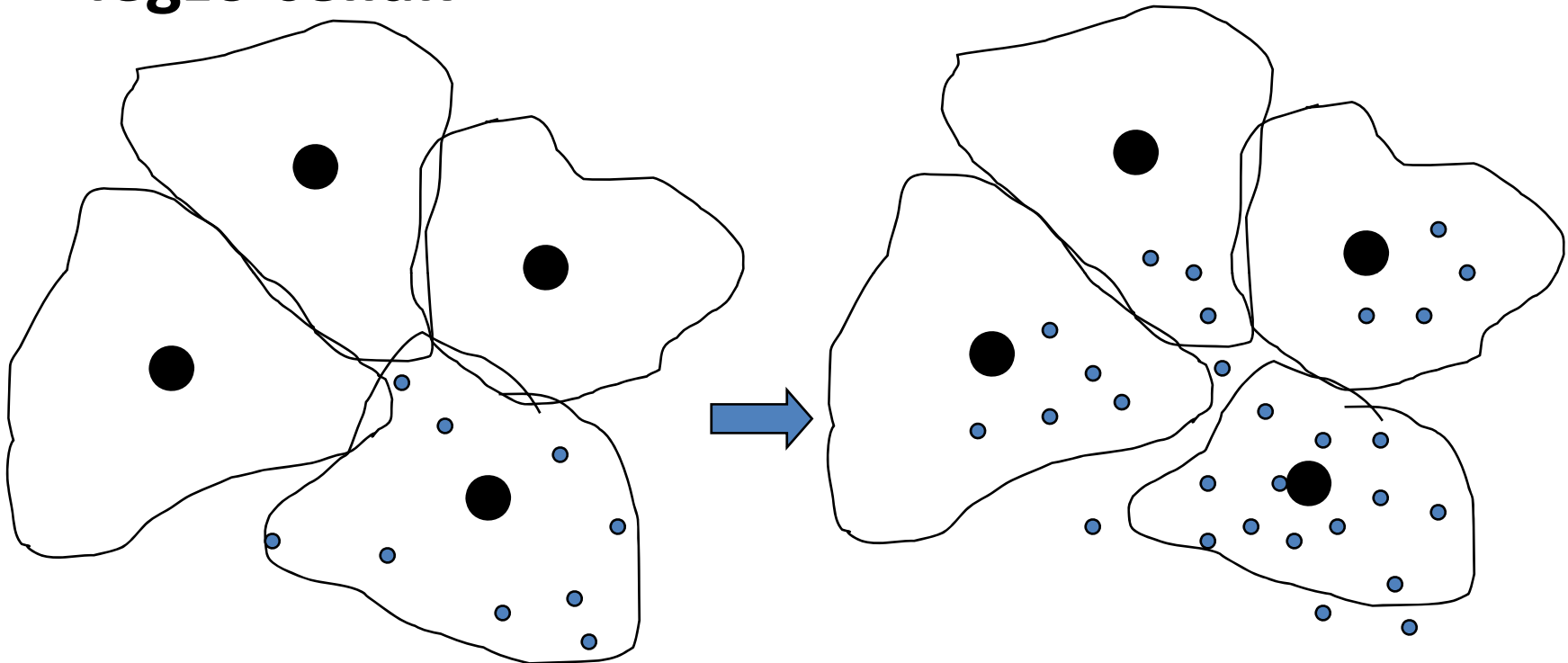
- **kódosztásos többszörös hozzáférés:** a többi felhasználó adatforgalma interferenciát jelent
- azonos frekvenciák használhatók a szomszédos cellákban: interferencia határolt
- **RAKE vevő:** a többutas terjedés hatásait részben kiküszöböli (MUD lehetősége)
- **gyors teljesítményszabályozás:** biztosítja, hogy az egyes terminálok a kapcsolathoz elegendő minimális teljesítménnyel adjanak

UMTS alapok: lefedettség

- mivel kódosztás van: az átvitt forgalom és a lefedett terület összefügg
- nagyobb átvitt forgalom nagyobb interferenciát jelent, ez az ellátott terület csökkenéséhez vezet
- ez az ún. „lélegző” cellák jelensége

UMTS alapok: lefedettség

- **légző cellák**



- a megnövekedett forgalom miatt az ellátott terület csökken -> a távolabbi mobilok kikerülnek a lefedettség alól
- megfelelő átlapolásokkal egyfajta terhelés-elosztást jelent

UMTS alapok:kapacitás

- „puha” kapacitás: a szomszédos cellák forgalma interferenciát jelent a cellában: befolyásolja az átviteli kapacitását
- „puha” kapacitás: a beengedhető forgalomnak nincs kemény korlátja
- a szomszédos cellák nagyobb forgalma csökkenti az adott cella kapacitását
- interferencia korlátozott kapacitás (GSM: frekvencia korlátozott)

UMTS alapok:kapacitás

- „puha” hívásátadás: handover során a terminál egyszerre több bázisállomáson keresztül kommunikál: az átvitt forgalom nő, a kihasználtság csökken
- a BS és MS adóteljesítménye kisebb lehet
- nincs eldobott hívás handover közben
- a „puha” hívásátadás is megköveteli a nagy átlapolásokat a cellák között

UMTS alapok:kapacitás

- „multiservice” hálózat
- áramkörkapcsolt és csomagkapcsolt szolgáltatások, vegyes forgalom
- UMTS szolgáltatási osztályok:
 - „conversational” osztály (beszéd, videotelefon): real time
 - „streaming” osztály (webcast, streaming video)
 - interaktív osztály (web böngészés, adatbázis lekérdezés)
 - háttér osztály (elektronikus levél, ftp)
- különböző adatsebességű források (8-384 kbps, esetlegesen 2 Mbps, változó bitsebesség)
- asszimetrikus forgalom (DL > UL)

UMTS alapok: minőség

- szolgáltatási osztályok: különböző minőségi követelmények
- „conversational” kapcsolatok: késleltetési követelmények, késleltetés ingadozás, hibaaarány
- „streaming”: késleltetés ingadozás, hibaaarány
- interaktív illetve háttér osztály: hibaaarány

LTE rádiós interfész

LTE alapvető rádiós jellemzők Általános jellemzők

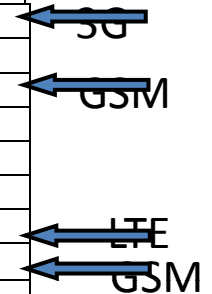
- OFDM alapú rádiós interfész
 - downlink: **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
 - uplink: **Single Carrier-FDMA** más néven DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) --- ez is OFDM alapú
 - lehetővé teszi a rugalmas sávhasználatot
 - frekvencia szelektív fading hatása elleni védekezés
 - a megvalósítása egyszerű IFFT-vel
- számos sáv szélességet és átviteli sávot támogat
- FDD és TDD támogatás
- adaptív moduláció és csatornakódolás
- gyors második rétegbeli újraküldés (HARQ)
- többantennás támogatás (max. 4x4)

LTE rádiós interfész

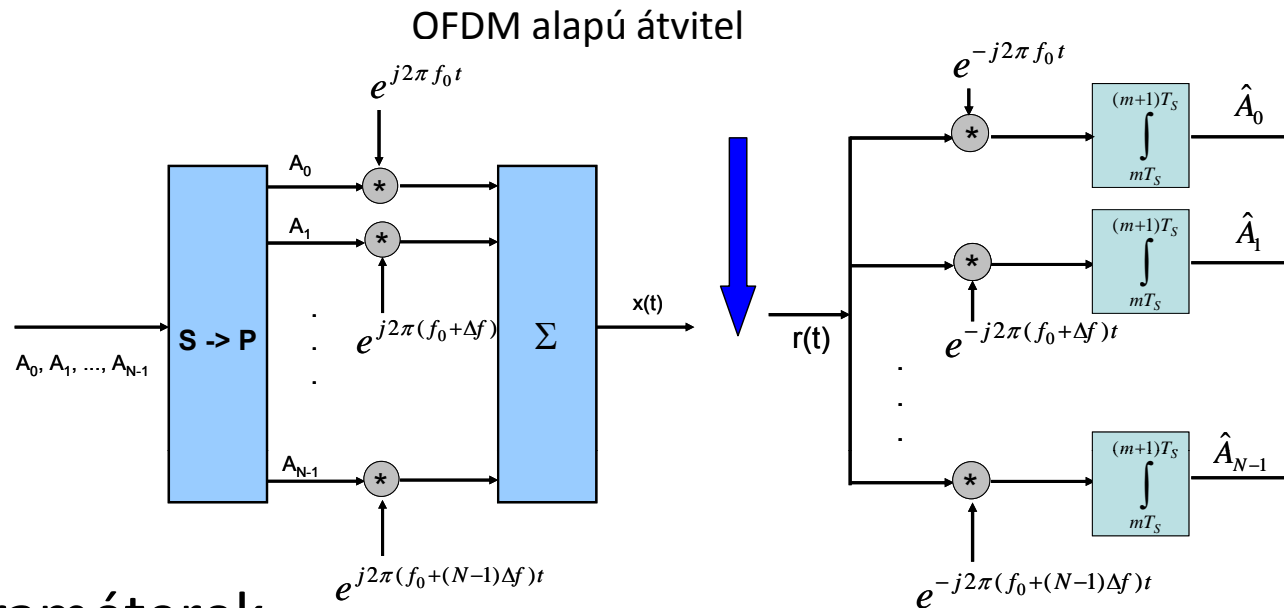
E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6 ¹	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1452.9 MHz	1475.9 MHz	1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz	716 MHz	728 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		FDD
16	Reserved		Reserved		FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
18	815 MHz	830 MHz	860 MHz	875 MHz	FDD
19	830 MHz	845 MHz	875 MHz	890 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	1920 MHz	1900 MHz	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	2025 MHz	2010 MHz	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	1910 MHz	1850 MHz	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	1990 MHz	1930 MHz	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	1930 MHz	1910 MHz	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	2620 MHz	2570 MHz	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	1920 MHz	1880 MHz	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	2400 MHz	2300 MHz	2400 MHz	TDD

Note 1: Band 6 is not applicable

Működési frekvenciasávok



LTE rádiós interfész



OFDM paraméterek

- segédvívők távolsága 15 kHz (Δf)
- ennek megfelelően a szimbólumidő 66.67 μ s
- ciklikus prefix (~védőidő): 5.2 μ s az időrés első szimbóluma előtt, 4.7 μ s a többi szimbólum előtt (normál prefix), vagy 16.7 μ s (bővített prefix)
- $\Delta f = 7.5$ kHz is definiált, multicast hálózatokhoz (műsorszórás az LTE hálózaton)

3. óra

- 2011 március 30

LTE rádiós interfész

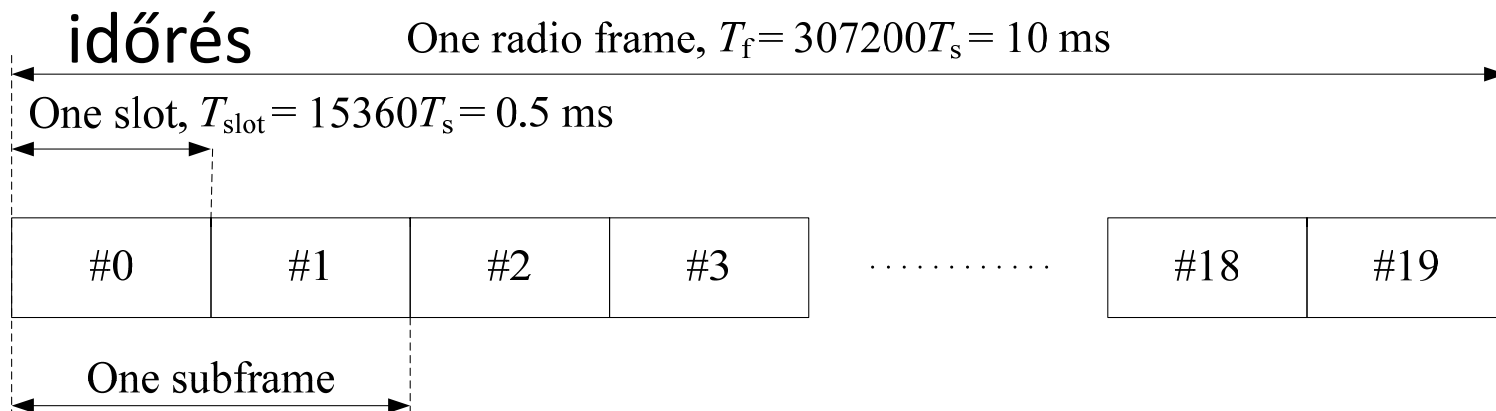
Keretszerkezet

Alap időzítés

- alap időegység $T_s = 1/(15000 \times 2048)$ másodperc
- mintavételi idő, órajel periódus alapja
- minden ennek többszöröseként definiálva a szabványban

•Keretszerkezet FDD módban

- 10 ms keret, 10 db 1 ms alkeret, 20 db 0.5 ms



LTE rádiós interfész

Keretszerkezet TDD módban

- 10 ms keret, két db 5 ms félkeret, 1 ms alkeretek, 0.5 ms időrések
- speciális alkeret (S: 1 ms): az UL/DL átkapcsolás ideje, három részből áll: DwPTS, GP, UpPTS, azaz downlink rész, adásszünet, uplink rész
- speciális alkeret mindig a DL vétel után az UL adáshoz átkapcsoláskor
- DwPTS és UpPTS is adást szállít, különböző hosszúságúak lehetnek
- definiálva: UL/DL átkapcsolás gyakorisága 5 ms vagy 10 ms

LTE rádiós interfész

Keretszerkezet

Keretszerkezet TDD módban

– hét féle keret konfiguráció lehetséges, a 0. és 5. alkeret mindig DL, példák lent:

nagy UL
forgalom
nagy DL
forgalom



nagy DL
forgalom, 10
ms



Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

LTE rádiós interfész

Moduláció és kódolás

OFDM szimbólumok

- a ciklikus prefix értékeiből és a szimbólumidőből, valamint az időrés idejéből származik az egy időrésben átvitt OFDM szimbólumok száma
- ez 6 (bővített prefix) vagy 7 (normál prefix)
- fizikai jelzési sebesség sebesség: 12 vagy 14 kszimbólum/sec

•Moduláció

- QPSK, 16 QAM és 64 QAM (2, 4, 6 bit információ per szimbólum per segédvívő)
- fizikai kontroll információ QPSK

•Hibavédő kódolás

- 1/3 arányú turbo kódolás (1 bit -> 3 bit), erős hibavédelem
- ha nincs szükség ilyen erősre: lyukasztás (~törölt bitek)
 - a csatorna minőségétől függően

LTE rádiós interfész

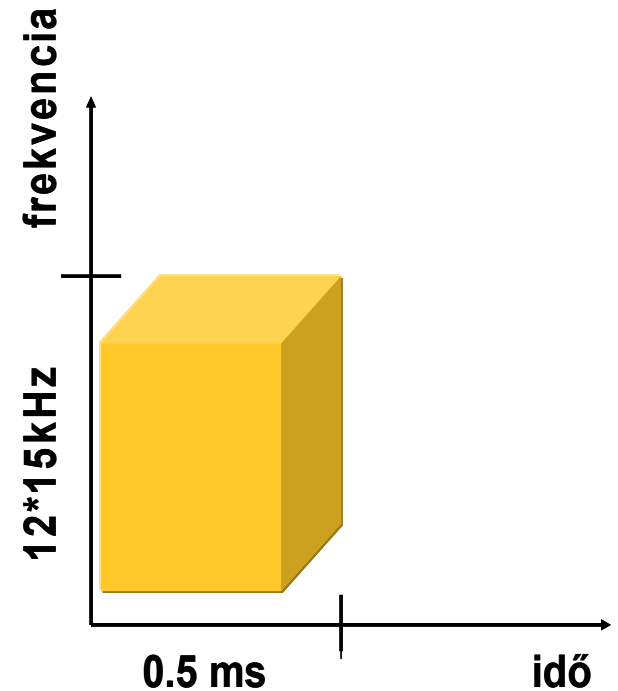
- Adaptív moduláció és kódolás^{Moduláció, és kódolás}
 - jó csatorna -> nagy állapotszámú moduláció, gyenge hibavédelem (kevés redundancia) -> nagy hasznos átviteli sebesség
 - rossz csatorna -> alacsony állapotszámú moduláció, erős hibavédelem (sok redundancia) -> alacsony hasznos átviteli sebesség
 - csatornaméréseken (referenciajelek alapján) és csatornaállapot jelentéseken alapszik
- Hibrid újraküldés
 - növelt redundancia: az újraküldés erősebb hibavédő kódolással
 - chase combining: az újraküldött és a sérült csomagot kombinálja

LTE rádiós interfész

Fizikai erőforrás blokk

- Fizikai szintű rádiós erőforrás

- fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block, PRB)
- 12 ségédvívő ($12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$)
- egy időrésben (0.5 ms)
- a legkisebb egység, ami egy előfizetőnek adható
- $12 \cdot 6 =$ vagy $12 \cdot 7$ szimbólum időrésenként
- kiosztás: egy előfizetőnek egy PRB egy alkeretben (2 időrés)
- összesen 144 vagy 168 szimbólum alkeretenként



LTE rádiós interfész

Fizikai erőforrás blokk

- Fizikai szintű pillanatnyi átviteli sebességek egy PRB-vel

	rövid prefix	hosszú prefix
QPSK	336 kbps	288 kbps
16 QAM	672 kbps	576 kbps
64 QAM	1008 kbps	864 kbps

- Sávszélesség kérdése

– egy bázisállomásnak minimum 6 PRB-t kell tudni kezelni

- ez védősávokkal, DC vivővel 1.4 MHz

Sávszélesség [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
PRB-k száma	6	15	25	50	75	100

elvi maximális fizikai sebesség
100.8 Mbps

LTE rádiós interfész

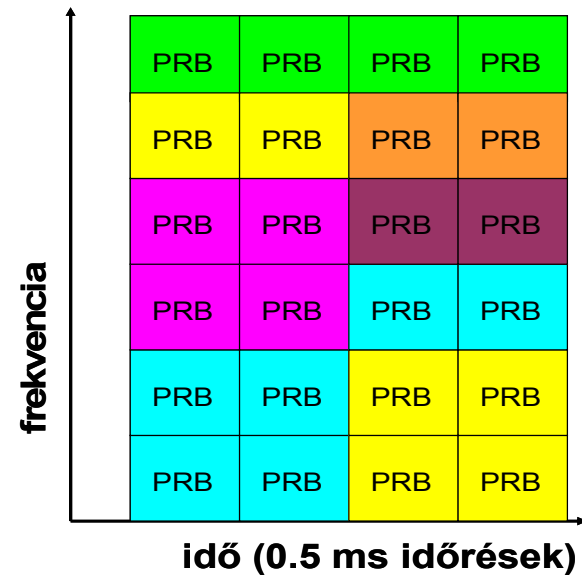
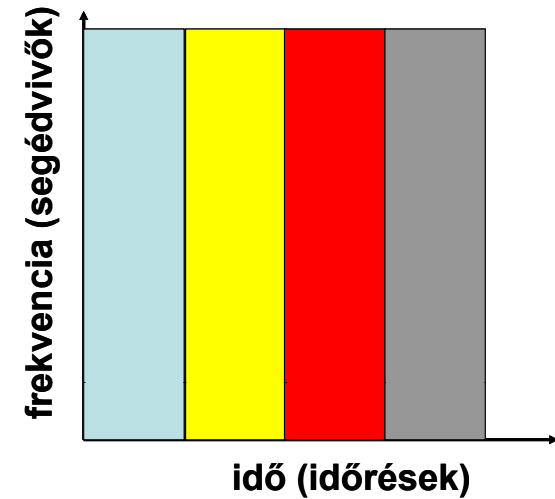
OFDMA

OFDM (WLAN, Wimax, DVB): minden segédvivő egy előfizető adatát viszi

- a csatorna időben van megosztva

OFDMA (LTE, mobil Wimax): a segédvivők egy része (PRB-k egy része) juthat egy előfizetőnek

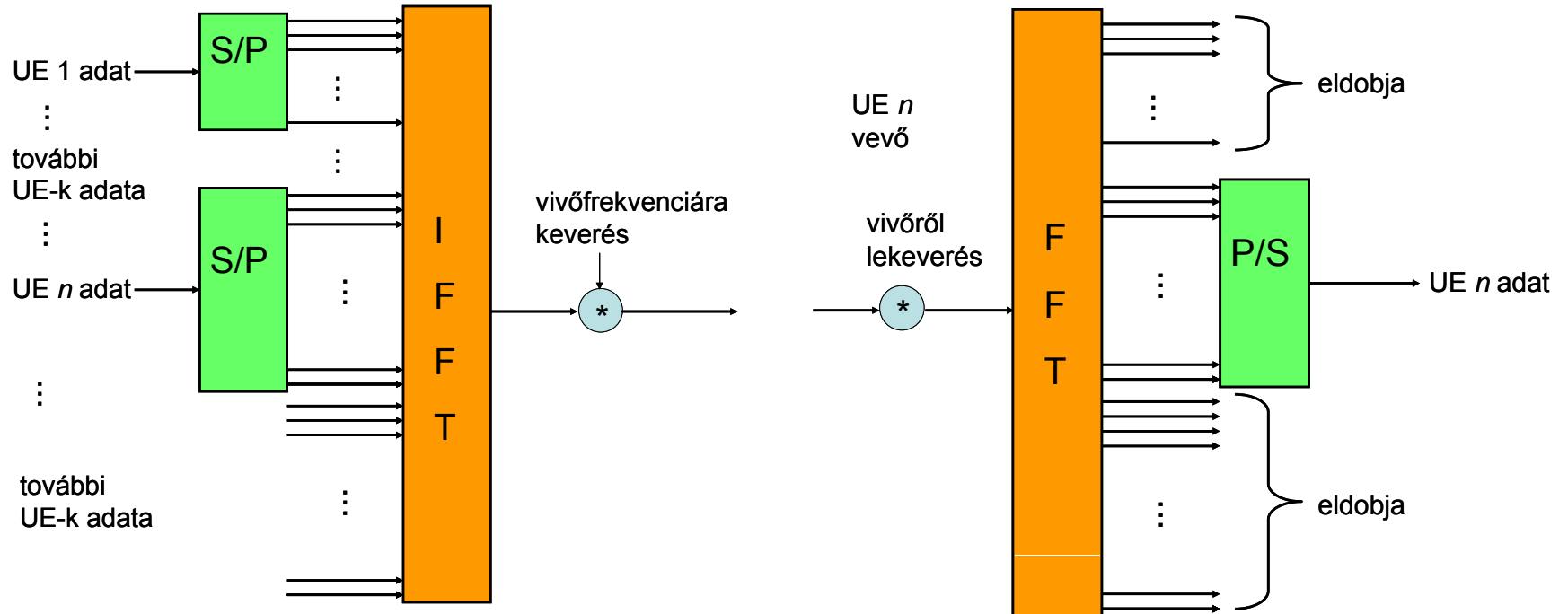
- a csatorna időben és frekvenciában megosztva



LTE rádiós interfész

Megvalósítás a gyakorlatban ^{OFDMA}

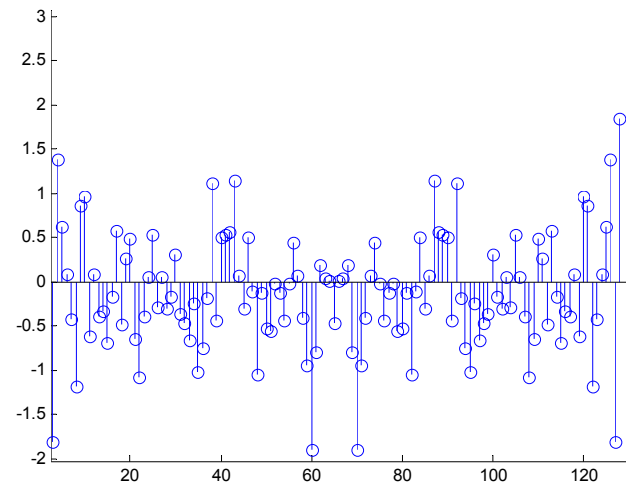
- UE sávszélesség: hány IFFT bemenet
- frekvenciában hol: melyik IFFT bemeneteken



LTE rádiós interfész

Megvalósítás a gyakorlatban^{QFDMA}

- jellemző: nagy dinamikartomány (csúcs/átlag teljesítmény, PAPR nagy)
- rádiós végfoknál nem előnyös (rossz hatásfok)
- bázisállomás adójában OK (drágább lehet)
- UE adójában nem OK (olcsónak, egyszerűnek kell lennie)
- tulajdonképpen egy nagyon sok állapotú moduláció

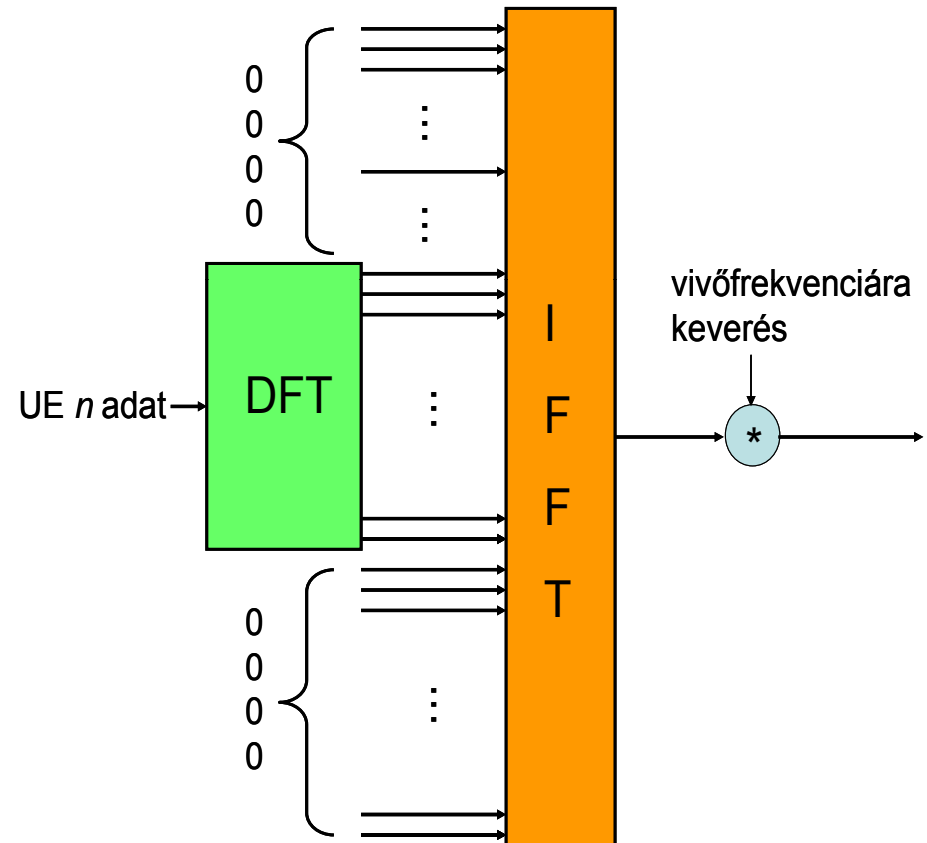


LTE rádiós interfész

SC-FDMA

Uplink megoldás

- **SC-FDMA** (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
- jó öreg FDMA? (pl. 1G NMT)
- nem: UE által használt sávszélesség és sáv dinamikusan változhat, egy RF vivővel
- sávszélesség, frekvenciában hol: IFFT bemeneteinek száma, helye
- csak szomszédos sávok megengedettek
- DFT->IFFT: a jel marad
- IFFT-n hol? -> sávon belül hol

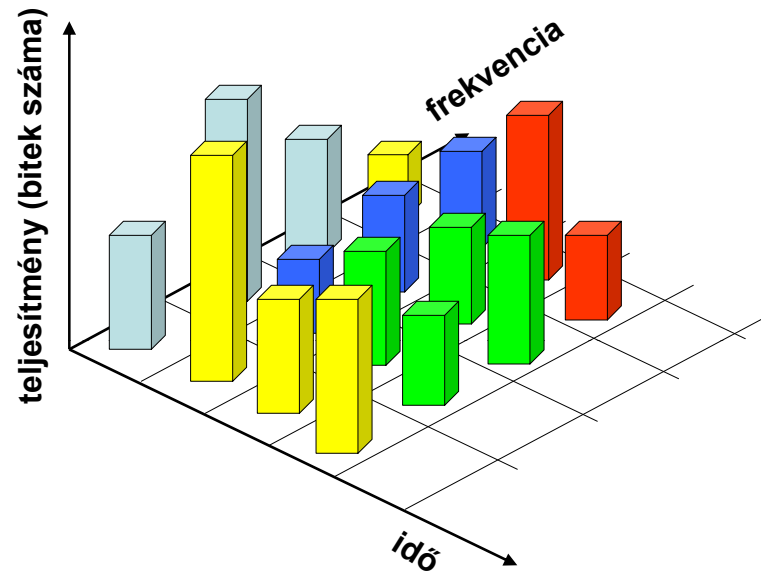


LTE rádiós interfész

- Osztott csatorna megközelíti
 - erőforrás rács: frekvencia
 - idő-frekvencia rács
 - a bázisállomás ütemezője
 - nem szabványos

- Ütemezési feladat

- melyik PRB-t
- melyik időrésben
- mekkora adóteljesítményr
jel/zaj viszony -> kisebb redundancia, magasabb állapotú
moduláció -> több hasznos bit/PRB)
- melyik előfizető részére
- összes adóteljesítmény, PRB-k száma, időrések száma
korlátos



LTE rádiós interfész

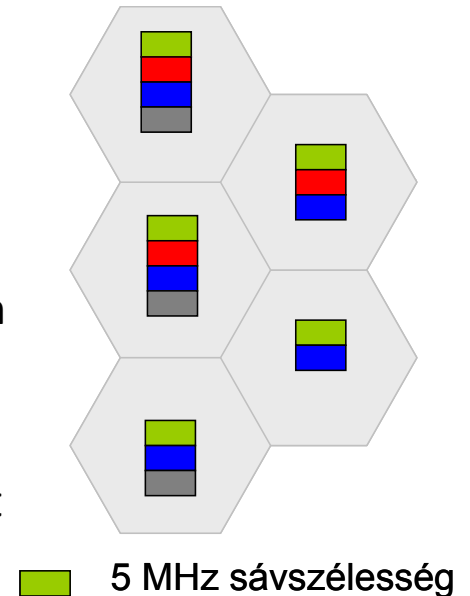
Csatornamegosztás

Hogyan legyenek a sávok kiosztva?

- különböző várható forgalom különböző sáv szélességeket igényel cellánként

Frekvenciatervezés?

- különféle szélességű sávok elhelyezése úgy, hogy ne zavarják egymást
- iparági igény, hogy ne kelljen
- várhatóan nem lesz akkora sáv szélesség hogy megoldható legyen
- tetszőleges sáv (tipikus 20 MHz) minden cellába (reuse 1)
- a rendszer oldja meg, hogy a szomszédos cellák azonos sávot használjanak, de ne legyen két azonos PRB egyszerre kiosztva két előfizetőnek, akik zavarnák egymást



LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

A rendszer gondoskodjon az interferencia elkerüléséről!

Elosztott ütemezés: ütemező az eNodeB-kben

- koordinált működés: a szomszédos cellák ne, vagy csak kis teljesítménnyel használják ugyanazt a PRB-t
- X2 interfész az eNodeB-k között
- szomszédnak okozott interferencia:
 - kisebb SINR -> kisebb adatsebesség/PRB
 - ütközések minimalizálása
 - igények kielégítése, fairness, QoS, átviteli sebesség és cellaátvitel maximalizálása

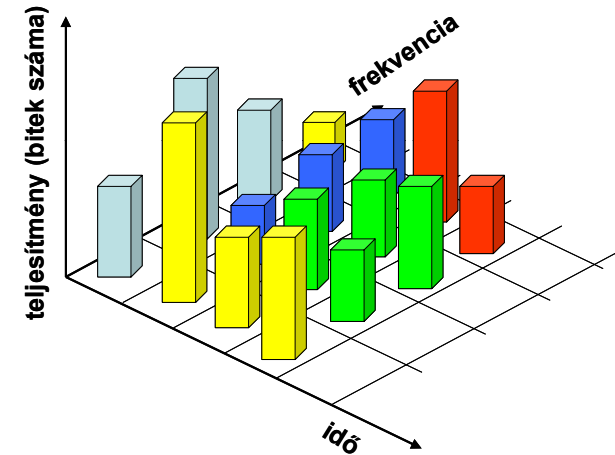
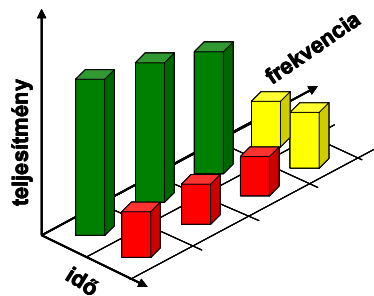
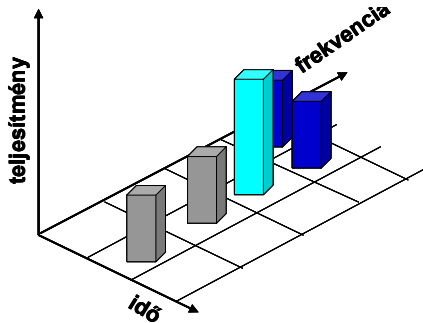
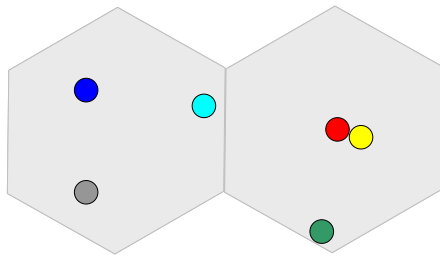
LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

Elosztott ütemező: 3 dimenziós erőforrás kiosztása

- minden bázisállomás ugyanazt az erőforrás-rácsot használja

Közeli termináloknak kis teljesítménnyel azonos PRB kiosztható



Általánosan: reuse 1 a közeli terminálok számára
reuse n a távoliaknak

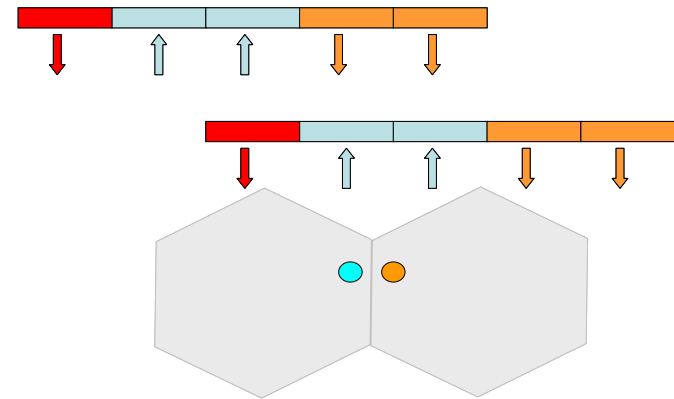
LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

Nehézség: TDD működés esetén

- nem szinkronizált eNodeB-k
- egy terminál UL adása zavarhatja a szomszéd cellában lévő terminál DL vételét

közös, koordinált UL/DL ütemezés szükséges



Követelmények a csatornakiosztással szemben:

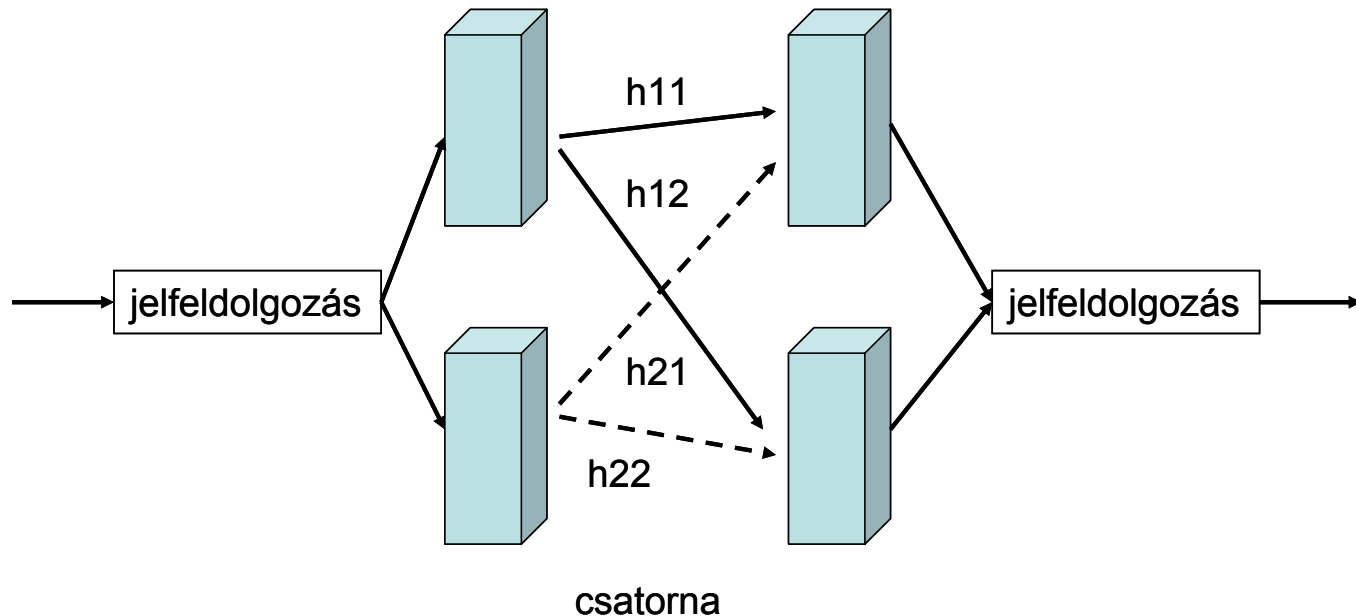
- **adaptálódik** a pillanatnyi forgalmi igényekhez (több PRB használata ott ahol nagyobb a forgalom)
- a bázisállomások **koordinált** módon együttesen kezelik az erőforrás rácsot

Nem szabványos és kulcsfontosságú. Az egyes gyártók hálózatainak teljesítőképességét nagyban befolyásolja.

LTE rádiós interfész

Többantennás működés

- MIMO – Multiple Input Multiple Output
 - több adóantenna (2 vagy 4), több vevőantenna (2 vagy 4)
 - többféle célra használható megfelelő adás előtti/vétel utáni jelfeldolgozással



LTE rádiós interfész

- MIMO – Multiple Input Többantennás működés Multiple Output
 - antennák elhelyezése: „elég messze”, terminálon bajos lehet (pl. laptop 4 sarka)
 - használati lehetőségek:
 - **nyalábformálás**: adott irányban nagyobb az antenna „erősítése” -> jobb lefedettség az irányban
 - adóoldali/vevőoldali **diverziti**: a több antennán adott/vett jelek megfelelő kombinálásával: jobb jel-zaj viszony
 - **interferencia törlés**: több vevő antennával bizonyos irányból jövő jelek törlése (kb. a nyalábformálás fordítottja)
 - **térbeli multiplexálás**: több adóantennán párhuzamosan több csomag küldése, azonos időben és frekvenciákon -> adatsebesség többszörözés
 - **többfelhasználós MIMO**: mint a térbeli multiplexálás, de több előfizetőnek szóló csomagok

LTE rádiós interfész

- MIMO – Multiple Input ^{Többantennás működés} Multiple Output
 - térbeli multiplexálás lehetősége
 - nagy jel-zaj viszonynál
 - 2x2-es eset egyszerűen magyarázva: 2 ismeretlen, 2 egyenlet
$$y_1 = h_{11} \cdot x_1 + h_{21} \cdot x_2$$
$$y_2 = h_{12} \cdot x_1 + h_{22} \cdot x_2$$
 - referencia jeleken végzett mérésekkel becsülhető csatornaparaméterek (h_{ij} értékek)
 - y_1, y_2 meghatározható ha az antennapárok közti csatornák függetlenek
 - nagy jel-zaj viszony, többutas terjedésű csatorna: sűrű beépítettség, beltér esetén használható effektíven
 - duplázza az átviteli sebességet

LTE rádiós interfész

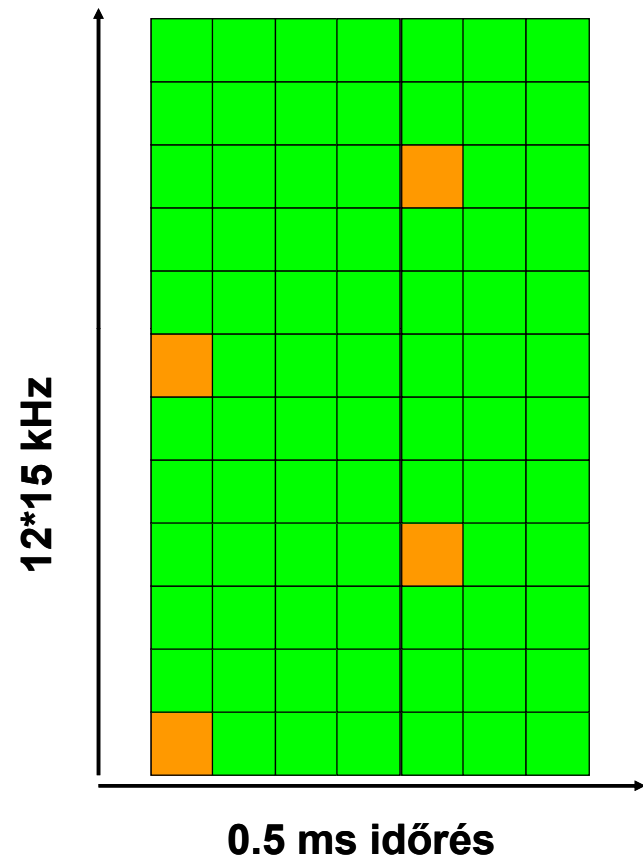
Többantennás működés

- MIMO az LTE -ben
 - 2 vagy 4 antenna mindkét oldalon
 - rétegek: jelek előfeldolgozása
 - pl. 1 réteg – 1 adóantenna
 - 1 réteg – 2 adóantenna
 - antennára kerülés előtt: előkódolás
 - térbeli multiplexálás: egyidejűleg maximum két csomag adása/vétele (4 antenna esetén is)
 - sebesség duplázása lehetséges

LTE rádiós interfész

Referencia jelek

- Ismert referencia jel szükséges
 - demodulációnál
 - szinkronizációhoz
 - csatorna minőség méréséhez
 - időben is, frekvenciában is változhat
 - DL irányban egyúttal cella azonosító is
 - egy PRB-ben 4 referencia szimbólum, az első és hátulról a harmadik szimbólumban, hat segédvivő távolságban
 - 4 elem a 84-ből nem visz adatot -> elvi max fizikai sebesség 96 Mbps

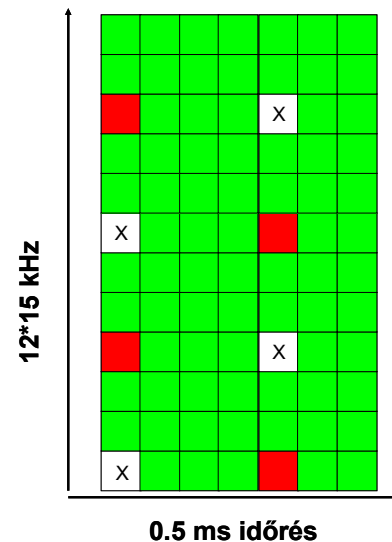
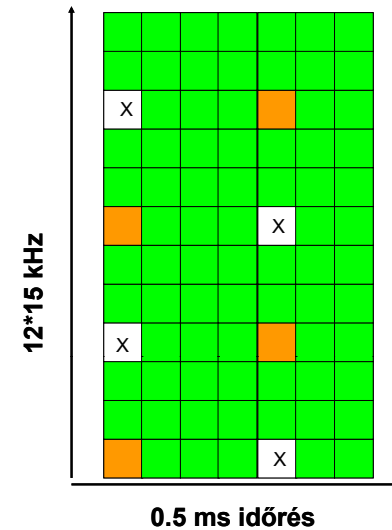


LTE rádiós interfész

Referencia jelek

•Többantennás eset

- az antennaelemek közti csatornabecsléshez fontos a referencia jel zavartalansága
- több antennán való adás esetén: különböző antennákon máshol vannak a referencia szimbólumok
- másik antennán adat sem küldhető ott -> a csatornamérést ne zavarja semmi
- némi veszteség az adatátvitelben
 - 2x2 antennánál 8 elem a 84-ből -> elvi max fizikai sebesség nem duplázódik, hanem 182.4 Mbps
 - 4 antennánál: két antenna jelén csak 2 referencia szimbólum, PRB-ként csak 72/84 határfok

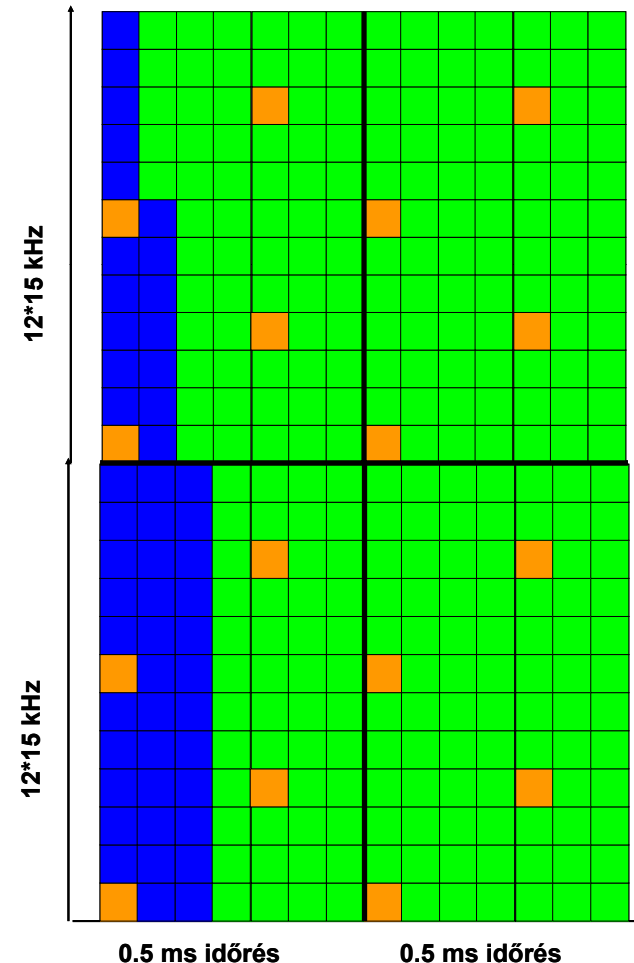


LTE rádiós interfész

Fizikai vezérlőinformációk

•Letöltési irányú vezérlőinformációk

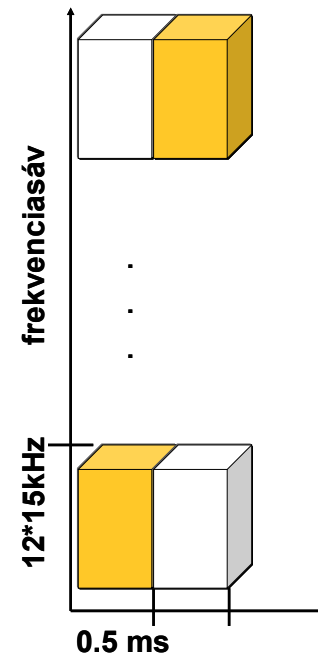
- melyik UE mikor, milyen transzport formátumban, melyik erőforrás blokkokon fog kapni
- melyik UE mikor, milyen transzport formátumban, melyik erőforrás blokkokon adhat
- fizikailag: az alkeret első maximum három OFDM szimbóluma
- QPSK, erős hibavédő kódolás
- további overhead
- fizikai letöltési irányú kontroll csatorna (PDCCH)



LTE rádiós interfész

Fizikai vezérlőinformációk

- Feltöltési irányú vezérlőinformációk
 - pozitív és negatív nyugták
 - UE által mért csatornaminőség jellemzője periodikusan (CQI, Channel Quality Indicator)
 - adási kérelmek
 - transzport formátumot nem kell jelezni
 - akkor is kell adni, ha adatforgalom nincs
 - együtt az adattal (DFT-IFFT előtt időben összefésülve)
 - ha nincs adat: a sáv két szélső PRB-jében, időreseként váltakozva
 - következő PRB-k, ha szükséges
 - PUCCH

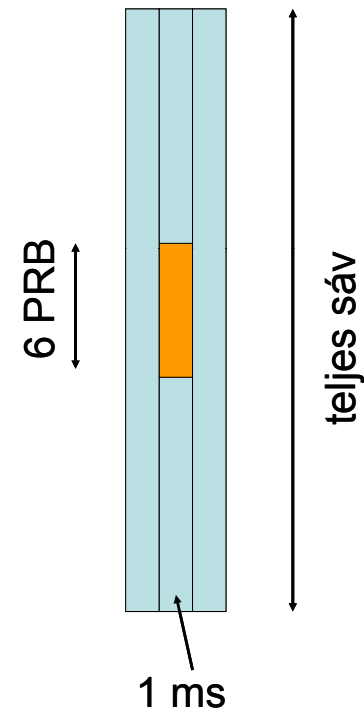


LTE rádiós interfész

Véletlen hozzáférési folyamat

•1. A mobil véletlen hozzáférési előtagot (preamble) küld

- egy kijelölt alkeretben (1 ms) a sáv közepén, 6 PRB-ben
- nagy forgalom esetén több is kijelölhető -> frekvenciában is és időben is
- nem ismert uplink időzítés miatt 0.9 ms hosszú üzenet küldése
- adássiettetés (timing advance) problémája miatt
- ez maximum 15 km távolság az állomástól
 - maximum 0.05 „fényms” távolság
- nagyobb cellák esetén a véletlen hozzáférési alkeret után sem szabad hasznos információ számára lefoglalni



Rádióhálózat típusok

- **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 (10-120W, tipikusan 30W), nagy G (antennanyereség)

4. óra

- 2011 április 4

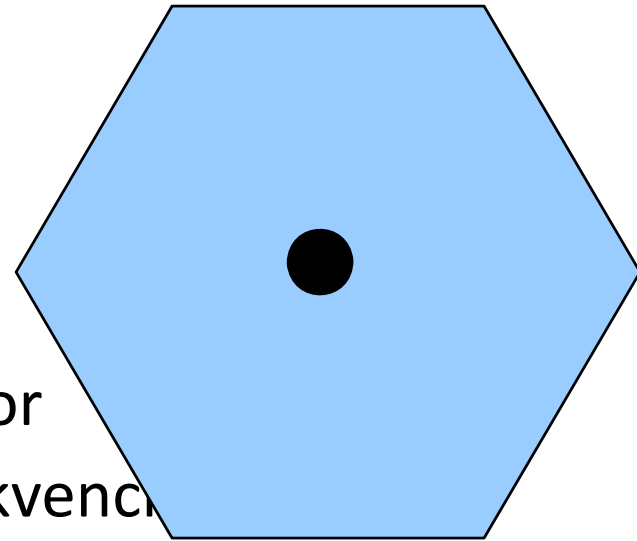
Rádióhálózat típusok

- **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, ill nagyon nagy forgalmú területek lefedésére (nagy kapacitás)
 - kis teljesítmény (<100 mW), antennák beltérben
- **Femtocella:**
 - Otthoni bázisállomások

Rádióhálózat típusok

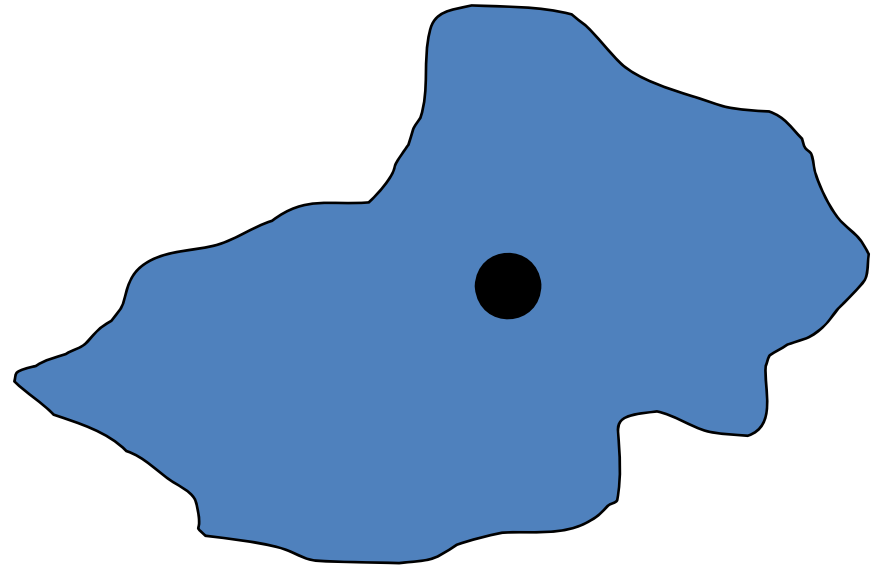
- **hatszögletű cella:**

- 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



Rádióhálózat típusok

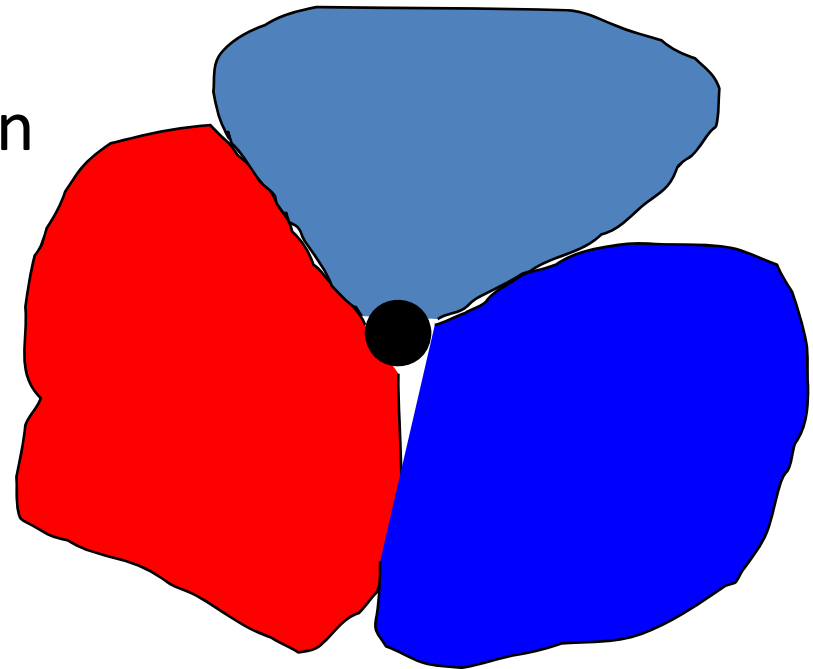
- **omni cella:**
 - körsugárzó antenna
 - elvileg kör alakú (a Hortobágyon lehet)
 - gyakorlatban a terep miatt szabálytalan
 - főleg rural területen



Rádióhálózat típusok

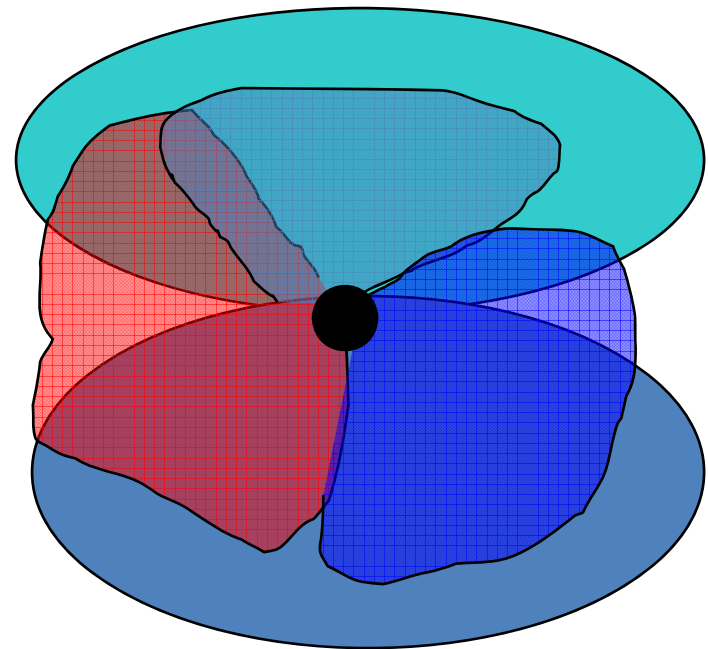
- **szektorizáció**

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



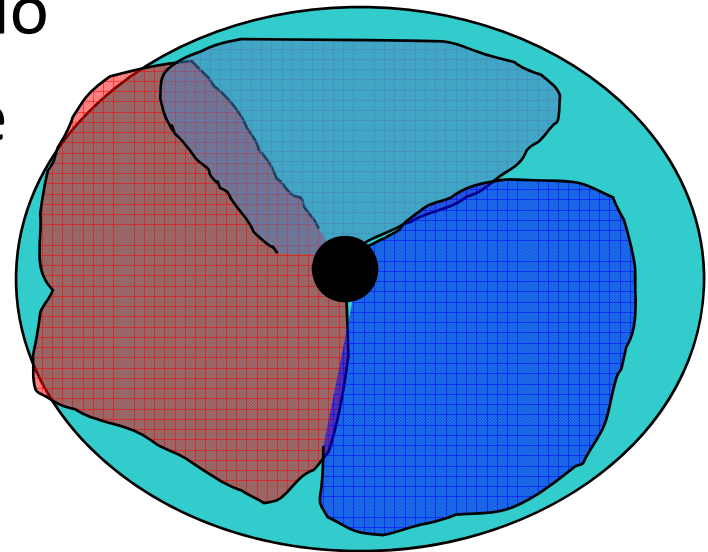
Rádióhálózat típusok

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



Rádióhálózat típusok

- **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



Rádióhálózat dimenzionálás

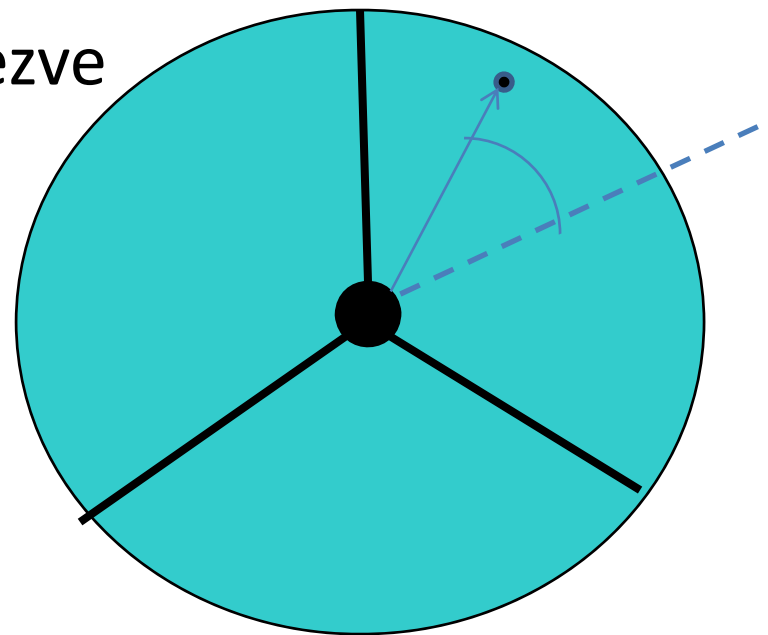
- **Cél:**

- Egy területre hány bázisállomás/cella kell
- Cellahatáron SINR vagy thrp követelmény
- Vagy átlagos kapacitás követelmény
- Vagy egyéb módon forgalmi követelmény

Rádióhálózat dimenzionálás

- **Alapelv:**

- Egy pontban SINR számítás egy hipotetikus BS-től
- távolság és irány alapján vehető jelteljesítmény
- Interferencia számítása ugyanígy
- Hatszög geometriát feltételezve
- Az interferáló BS-ek helye



Rádióhálózat dimenzionálás

- **Alapelv:**

- dB – lin átváltás

- Jelszint: $P_0 + G_0 - PL(r) - A_{ch}(F_i)$

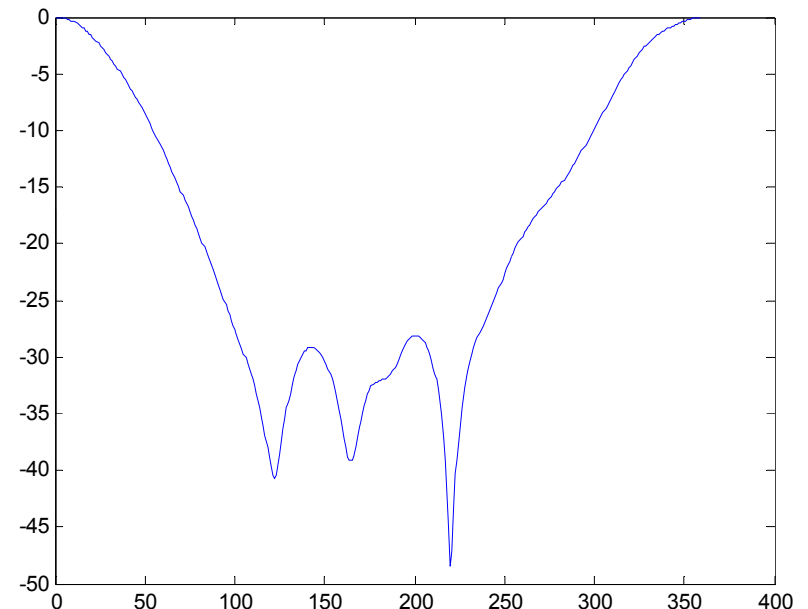
- PL(r): terjedési modell

- Shadow fading egyszerű kezelése

- Interferencia: ugyanígy

$$A_{ch} = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$$

$$\theta_{3dB} = 70^\circ \text{ and } A_m = 20 \text{ dB}$$



5. óra

- 2011 április 11

Rádióhálózat dimenzionálás

- **SINR számítás**

- Dimenzionálás alapelve: jel/interferencia+zaj viszony a kiszolgáló bázisállomás, mint origóhoz képest az (x,y) pontban

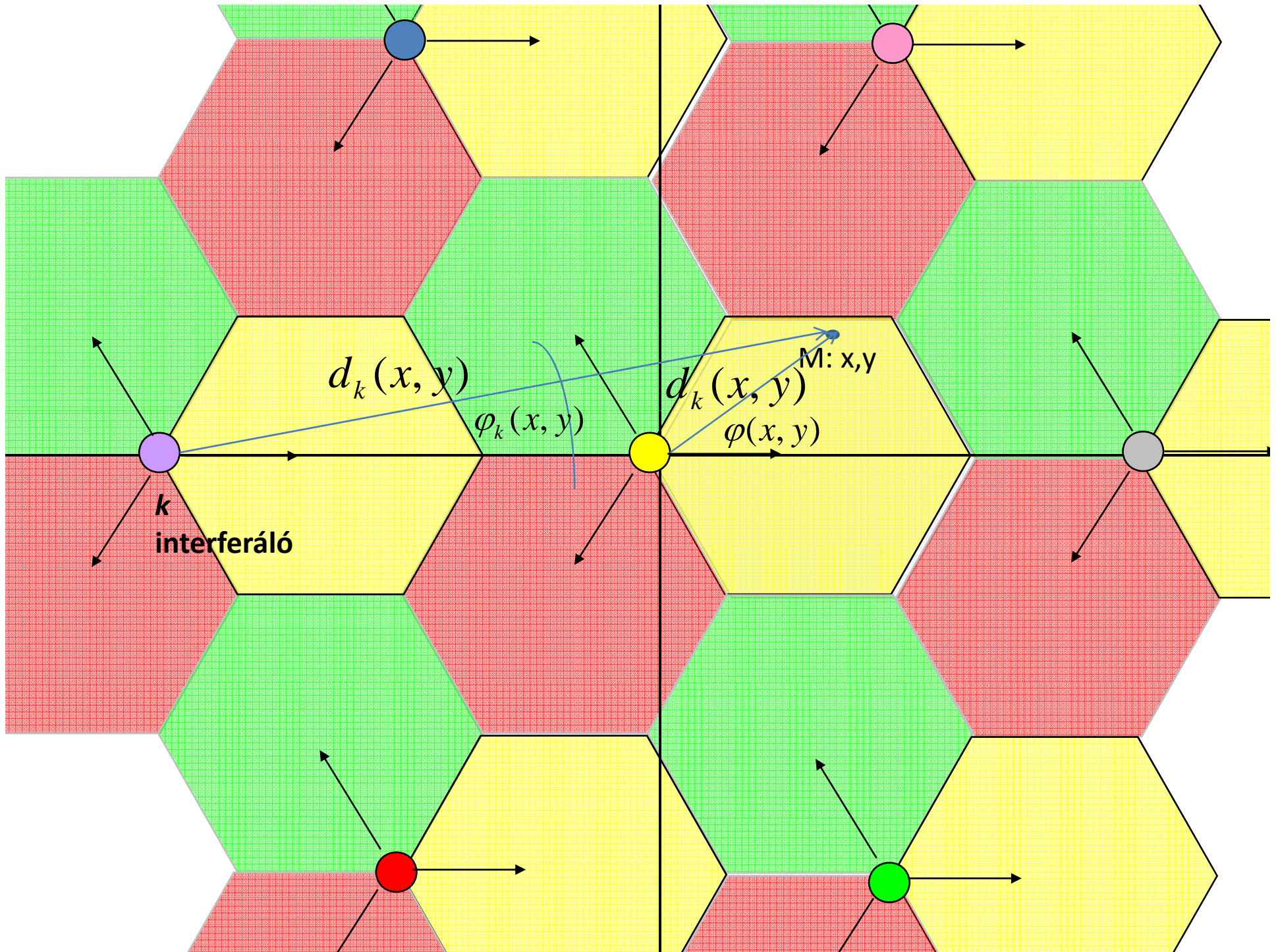
- Ezután: x,y pontban elérhető sebesség:

- $\text{Rate}(x,y) = F(\text{SINR}(x,y))$, ahol F az adott technológia képességét jelzi (link adaptációs összefüggés, link to system leképezés)

- Ha nincs más, akkor Shannon is jó, W sávszélességen:

$$\text{Rate}(x, y) = W \log_2(1 + \text{SINR}(x, y))$$

- Figyelem! Shannon nem decibelben várja az SINR-t!!!



Rádióhálózat dimenzionálás

- **SINR számítás**

$$SINR(x, y) = \frac{P_{ad} \cdot PL(d(x, y)) \cdot A(\varphi(x, y)) \cdot G_{ad} G_{vesz}}{\sum_{k:\text{interferencella}} P_k \cdot PL(d_k(x, y)) \cdot A(\varphi_k(x, y)) \cdot G_{ad} G_{vesz} + P_{zaj}}$$

- P_{ad} : az x, y pontban elképzelt userre eső adóteljesítmény
- G_{ad} , G_{vesz} : az adó, ill vevőantenna nyeresége
- $d(x, y)$, $d_k(x, y)$ az x, y pont távolsága a kiszolgáló, illetve a k interferáló cella BS-étől
- $F_i(x, y)$, $F_k(x, y)$ az x, y pont ilyen szögben látszik a kiszolgáló, illetve a k . interferáló cella antennájának főirányától
- P_{zaj} a termikus (fehér) zaj teljesítménye, kTW , W sáv szélességen, T zajhőmérséklet, k Boltzmann állandó
- Ha frekvencia újrafelhasználás van, csak az azonos sávot használó cellákból jön interferenciái (azonos színek az ábrán)
- $A(F_i)$: az antenna karakterisztika, azaz az irányfüggő extra csillapítás, lásd korábban

Rádióhálózat dimenzionálás

- **SINR számítás**
- PL(d) meghatározása: erre szolgálnak a terjedési modellek, lásd később

- Átlagos kapacitás definíció R sugarú cellára:

$$R_{avg}(R) = \iint_{x,y \in cella} Rate(x, y) \cdot f(x, y) dx dy$$

- $f(x,y)$: a kiszolgált előfizetők síkbeli sűrűségfüggvénye, ha nincs jobb, akkor egyenletesnek feltételezzük, $f(x,y) = 1/(R^2 * \pi)$

Rádióhálózat dimenzionálás

- **Dimenzionálás**

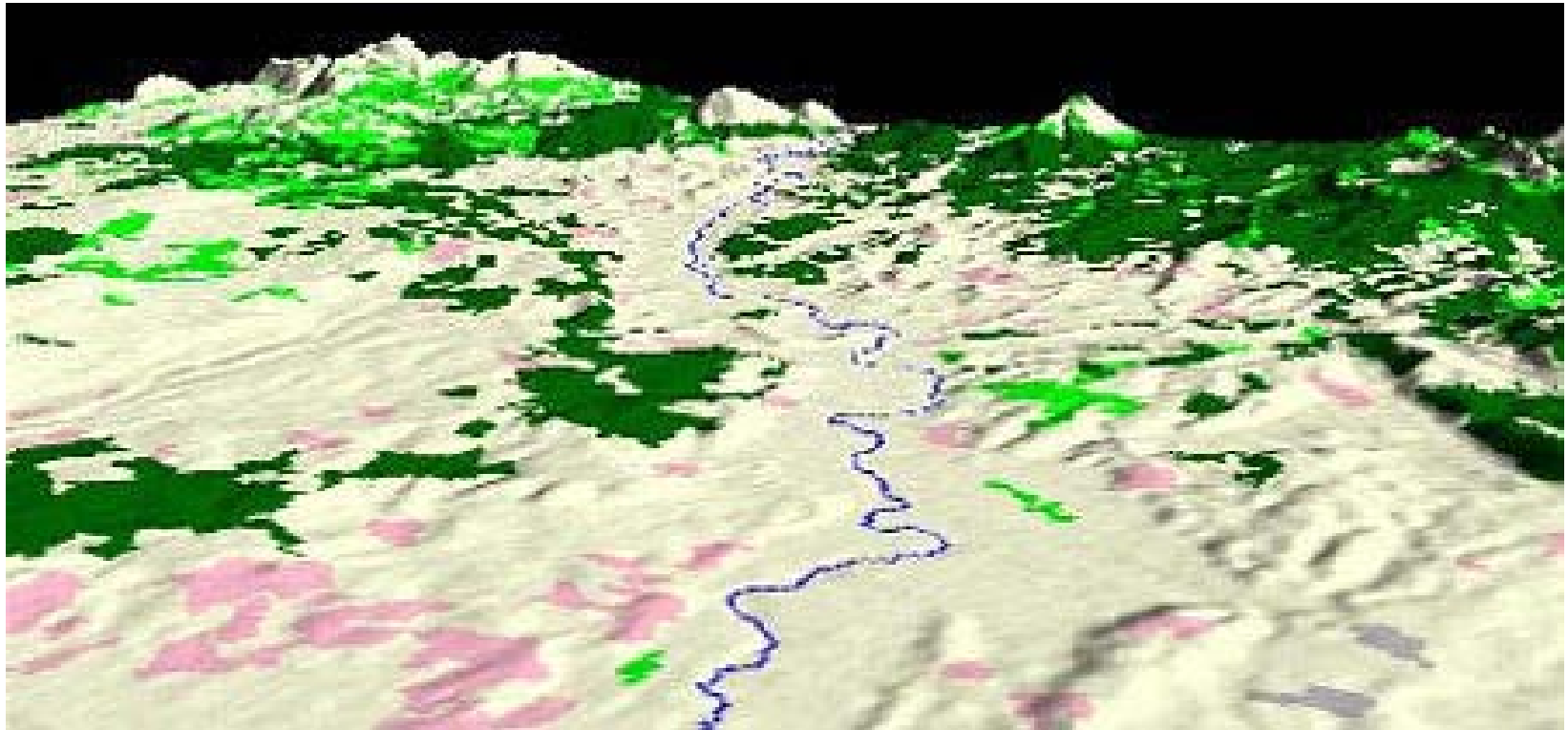
- Adott terület $T \text{ km}^2$
- Adott összes átlagos forgalom a területre C
- Cellaszélén elérhető átviteli sebesség követelmény: $\text{Rate}(x,y)$, ahol x,y az igény szerint definiált cellahatár (pl. főirányban, vagy főirány ± 30 foknál adott $2 \cdot R1$ távolságban, ahol $R2$ a cellasugár) \rightarrow ez az $R1$ függvénye, a cellaszél követelményből adódik egy $R1$ cellasugár, ebből $N1 = T / (R1^2 \cdot \pi)$ kellene
- Kapacitásigény szempontjából $C / \text{Ravg}(R2)$ cella kellene, meg kell keresni azt a maximális $R2$ cellasugarat, amelyre $N2 = T / (R2^2 \cdot \pi)$ és $C \leq N2 \cdot \text{Ravg}(R2)$
- Végül a dimenzionálás eredménye $\max(N1, N2)$, amihez $\min(R1, R2)$ sugarú cellák kellene

Részletes rádióhálózat tervezés

- **Ugyanúgy terjedési modelleket**
 - Pontosabb, lassabb modellek is alkalmazhatók, vagy az alább említett modellek is jók
 - Nem homogén hálózati elrendezés
 - Aktuális BS magasságok, antenna irányok, antenna dőlésszögek, adóteljesítmény, stb. alkalmazásával

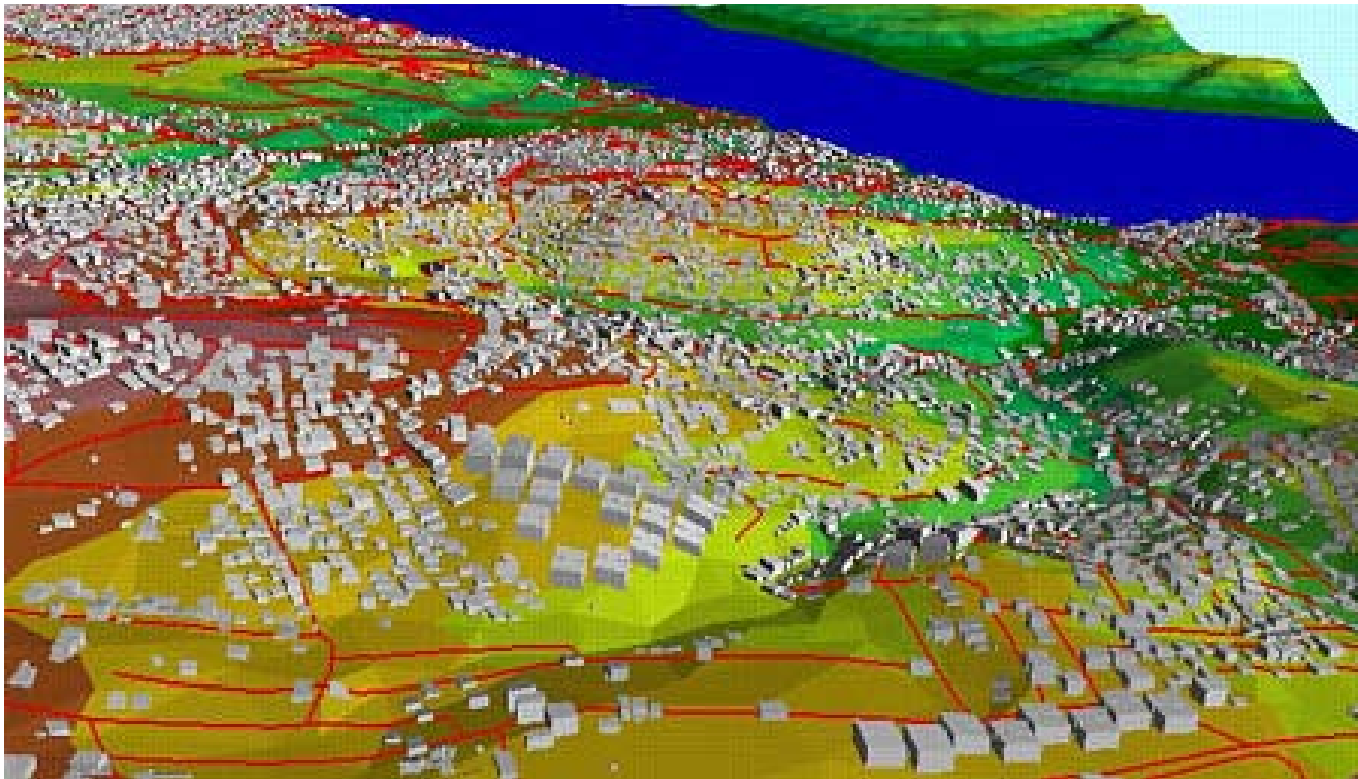
A lefedni kívánt terület

- makrocellák: digitális térképek tengerszint feletti adatokkal, műholdas
- morfológiai adatok (növényzet, vizek, stb)



A lefedni kívánt terület

- mikrocellák: digitális térképek városokról, utcák, épületek, utak, terek, épület magasságok, épület adatbázisok
- műholdas felvételek alapján



Terjedési modellek

- Szabadtéri terjedés:

- **Loss lineárisan:** $\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$

- **Decibelben** $L = 20\lg(f) + 20\lg(d) + 32.44$

- **d kilométer, f MHz**

Terjedési modellek

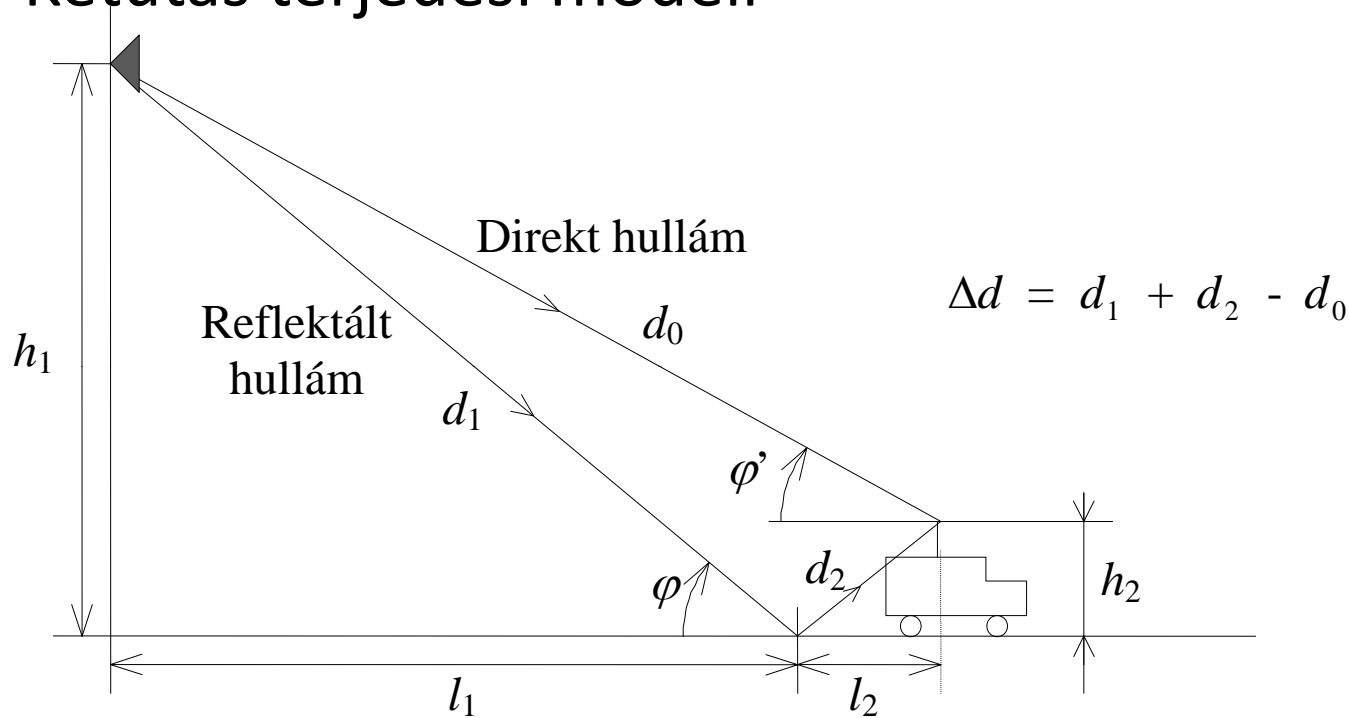
- empirikus modellek: nagy számú mérés alapján vázolt egyenletek, görbék alapján; gyors, könnyen számolható, nem túl pontos
- determinisztikus modellek: az EM hullámok terjedését, diffrakcióját, stb. számoló modellek; szükség van a környezet pontos ismeretére; nagyon nagy számítási kapacitást igényelnek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

Terjedési modellek

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

Terjedési 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: $P_{\text{veff}} = P_V \cdot f^{-n}$

Terjedési modellek

- Okumura-Hata modell (COST 231)
 - a csatorna csillapítását becsli
- $L_p = A + B \log(f) - 13.82 \log(h_{\text{BTS}}) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_{\text{BTS}})) \log(d)$
- 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)

Terjedési modellek

- Okumura-Hata modell (COST 231)
- 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:

$$a(h_m) = 8.29(\log(1.54h_m))^2 - 1.1 \quad f < 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 3.2(\log(11.75h_m))^2 - 4.97 \quad f > 400 \text{ MHz}$$

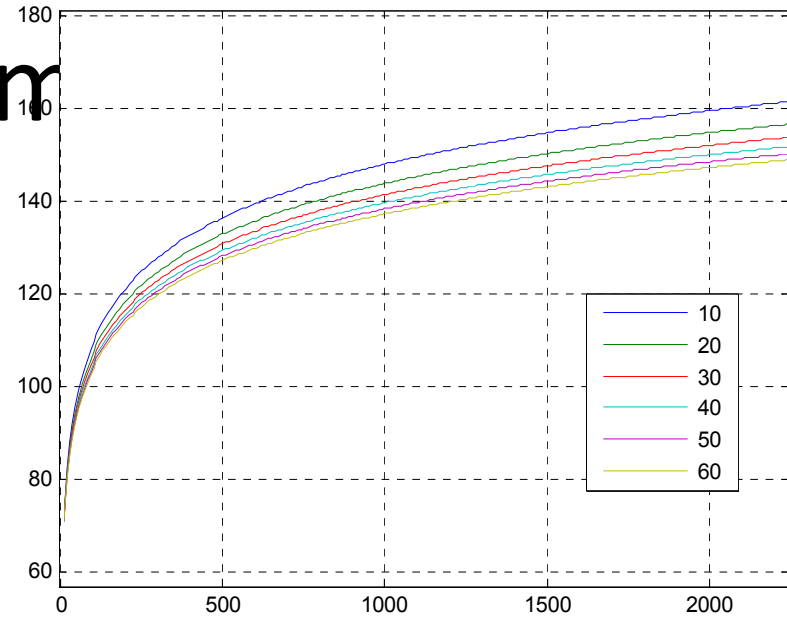
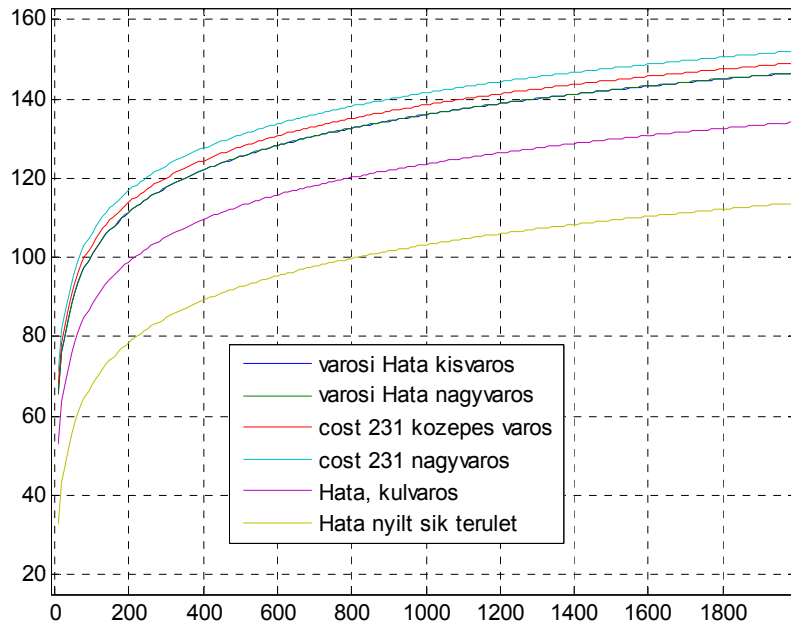
Alapvetően nagy kiterjedésű, sík városi környezetre.

Terjedési modellek

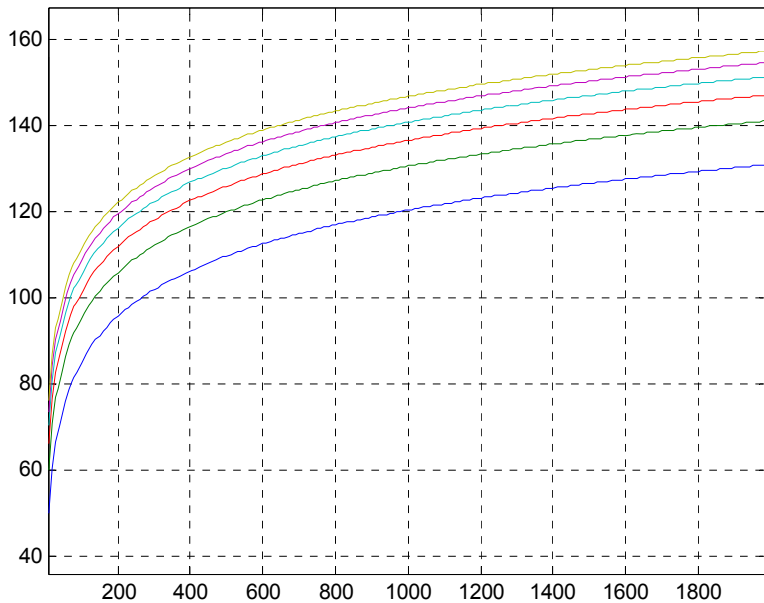
- Okumura-Hata modell (COST 231)
- módosítás dombos, városon kívüli, erdős, stb. területekre
- $L_{\text{eff}} = L_P + L_{\text{Diff}} - L_{\text{morpho}}$
- L_{Diff} : diffrakciós csillapítás, a terjedési útban lévő tárgyak miatt, számolható
- L_{morpho} : morfológiai osztályok szerinti módosítás
- L_{morpho} értékei: pl. vízfelület: 20, erdő: 8, külváros:6

6. óra

- 2011 április 13



BS antenna magasságok
 fvében a csillapítás: 10
 ...60 m magas BS, $f=2100$
 MHz



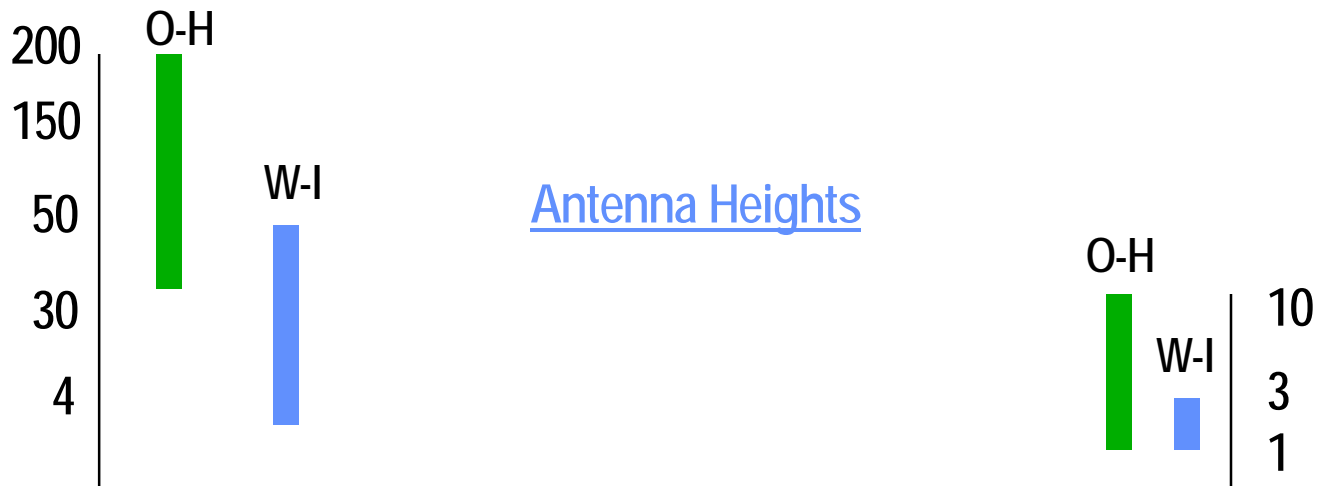
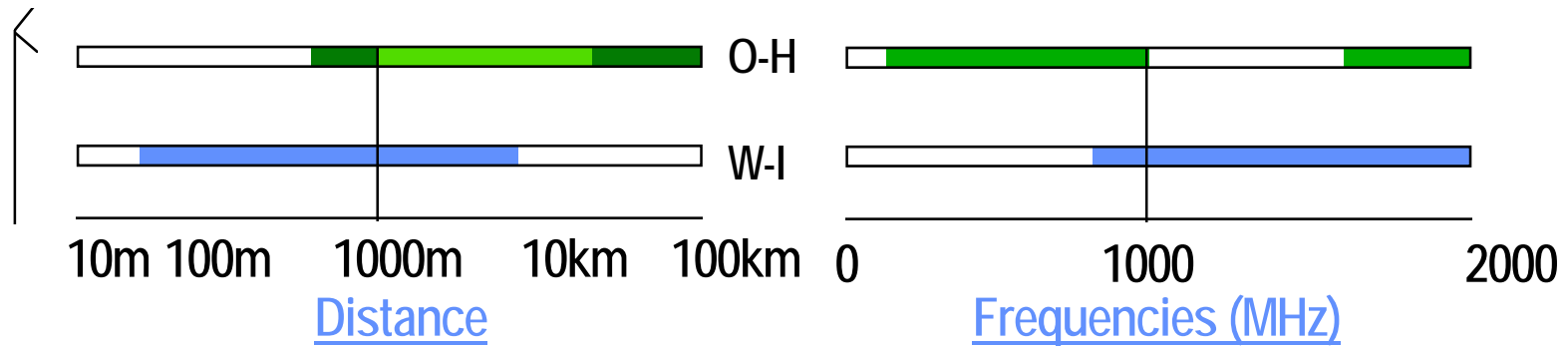
f fvében a csillapítás: $f=$
 500, 1000, ..., 3000 MHz

Terjedési modellek

- Walfish-Ikegami modell (COST 231)
- mikrocellák, városi környezet
- két összefüggés: látható mobil (Line of Sight, LOS) és nem látható (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

Terjedési modellek

- O-H és W-I



Ibrahim-Parsons modell

„Signal strength prediction in built-up areas. Part 1: Median signal strength”, Ibrahim, M.F.; Parsons, J.D.;

IEE Proceedings of Communications, Radar and Signal Processing, August 1983 , On page(s): 377 - 384

Empirikus modell

$$\begin{aligned}
 P_L = & -20 \log (0.7h_t) - 8 \log h_r + \frac{f}{40} \\
 & + 26 \log \frac{f}{40} - 86 \log \left(\frac{f+100}{156} \right) \\
 & + \left[40 + 14.15 \log \left(\frac{f+100}{156} \right) \right] \log d \\
 & + 0.265L - 0.37H + K_1
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{K = 0.087U - 5.5}$$

List of principal symbols

- H = relative mobile spot height, m
- L_F = free-space propagation loss, dB
- L_p = plane-earth propagation loss, dB
- L_D = terrain diffraction loss, dB
- L = land usage factor
- U = degree of urbanisation factor
- P_L = predicted median path loss between two isotropic antennas, dB
- d = range, m ($d \leq 10000$ m)
- f = transmission frequency, MHz
- h_t = transmitter antenna height above local ground level, m
- h_r = receiver antenna height above local ground level, m ($h_r \leq 3$ m)
- \circ = measured value of variable

Table 3: Average values of L , H and U in London

Range from transmitter km	L	H	U
2	58	7	54
5	52.4	21.1	—
9	42.6	10	—

Ibrahim-Parsons

Szemi - determinisztikus modell

$$P_L = 40 \log d - 20 \log (h_t h_r) + \beta$$

where

$$\beta = 20$$

$$\beta = 20 + \frac{f}{40} + 0.18L - 0.34H + K_2$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{0} \text{ where}$$

$$K_2 = 0.094U - 5.9$$

Lee modell

$$L = L_0 + \gamma \lg(d) + F_0$$

L_0 közepes csill. $d=1\text{km}$ -nél

γ csillapítás exponense

F_0 empirikus faktor, ebben vannak a mobil és bs magasságok, valamint a frekvencia hatásai: szerkezetében az O-H –hoz hasonlít

Környezet	L0 decibel	γ
Szabad tér	91.3	20
Nyílt tér	91.3	43.5
Külváros	104.0	36.8
Város	L_o [dB]	γ
Philadelphia	112.8	36.8
Newark	106.3	43.1
Tokyo	128.0	30.0

Terjedési modellek

- kettős meredekségű modell (mikrocellás): gyakorlati tapasztalat: a csillapítás értéke (decibelben) a távolság logaritmusával adott meredekség szerint csökken (kb. a távolság mínusz n.m-dik 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 $d > d_{bp}$
- $d_{bp} = 4h_{BTS} h_m / \lambda$

Terjedési modellek

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

Terjedési modellek

- Behatolási veszteség (épületbe)
 - Konstans, dB –ben adott faktor
 - Emelettől is függ
 - Földszinten 12-15 dB
 - Emeletenként: -0,05-2 dB –vel kisebb a behatolási veszteség
- Fading figyelembevétele:
 - Lognormál shadowing
 - A lognormál szórásnégyzetét veszteségként hozzáadjuk a hasznos jelhez (worst case)
 - Rayleigh fading
- LOS/NLOS
 - 1 ray tracing -> Walfish-Ikegamihoz
 - Vagy Prob LOS/NLOS

Fading hatásának figyelembevétele

- Rayleigh fading -> gyors fading
 - Kb. Félhullámhosszonként a jel nagy szinteket (akár 30-40dB) változik
 - a többutas terjedéssel érkező hullámok interferenciája/kioltása miatt
 - Rayleigh: a jel valós és képzetes része végtelen sok terjedési utat feltételezve normális eloszlású-> ennek abszolút értéke Rayleigh, fázisa egyenletes eloszlású
- Lassú fading, vagy shadowing, log-normál fading
 - Vevő körüli tereptárgyak (pl. épületek, stb.) árnyékoló hatása
 - dB-ben normális eloszlású véletlen extra csillapításként jelentkezik
 - szórása városban 7-8 dB, vidéken 10-12 dB
 - Hatásának számítása: worst case becslés: a terjedési csillapításhoz egy szórásnyi extra csillapítást adunk
 - Hogyan kezeljük ezt az interferenciánál (az interferálót is árnyékolhatja egy épület?)

Fading hatása

- Rayleigh: túl gyors és túl nagy ingadozások
- Az összeköttetés hibavédelmével (interleaving+hibavédő kódolás) és gyors újraadással lehet védekezni ellene
- Nem érdemes extra teljesítmény adásával ellensúlyozni (nincs extra 30-40 dB -nyi teljesítményünk! → 1000-10000 szerez)
- Frekvenciaszelektív fading ellen: szélessávú megoldással védekezünk:
 - GSM: frekvenciaugratás
 - 3G: 5 MHz széles szórt spektrumú jelre „nem hat” a keskenysávú frekiszselektív fading
 - LTE: frekiben nem ütemezünk rossz PRB-t az előfizetőnek

Fading hatása

- Lassú fading ellen:
 - A szakaszcsillapításba belekalkulált extra csillapítást ellensúlyozzuk implicit módon extra teljesítménnyel
 - Ez a fading tartalék
 - Tartalék mert: ha nem számolunk a fading-nyi extra csillapítással, ekkora extra teljesítménynek kell lennie tartalékban, hogy egy árnyékolt előfizetőt is ki tudjunk szolgálni

Terjedési modellek

- LOS/NLOS kérdése
 - A térkép adatbázis alapján minden pixelre eldönteni, hogy LOS/NLOS
 - 1 ray tracing -> Walfish-Ikegamihoz: nem mindig triviális térkép alapján, vagy nincs olyan adatbázisunk
 - Másik megoldás: LOS/NLOS valószínűséggel jellemezzük
 - Vagy (3GPP doksikban, EU, Earth projekt használja pl.):

Scenario 1 (Dense Urban):

$$\text{Prob(LOS)} = \min(0.018/R, 1) * (1 - \exp(-R/0.063)) + \exp(-R/0.063)$$

Scenario 2 (Suburban):

$$\text{Prob(LOS)} = \exp(-(R-0.01)/0.2)$$

Scenario 3 (Rural/ high speed):

$$\text{Prob(LOS)} = \exp(-(R-0.01)/1.0)$$

$$PL_{\text{LOS}}(R) = 97.4 + 20 \log_{10}(f_c) + 24.2 \log_{10}(R)$$

$$PL_{\text{NLOS}}(R) = 125.1 + 20 \log_{10}(f_c) + 42.8 \log_{10}(R)$$

f_c in GHz, R in km.

7. óra

- 2011 április 20
- (a ZH április 20, ezután fog véglegesedni a 7. órai vázlat, újra le kell tölteni a vizsga előtt)