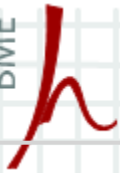


LTE: A RENDSZER FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE ÉS A RÁDIÓS INTERFÉSZ ALAPJAI.



LTE rádiós interfész

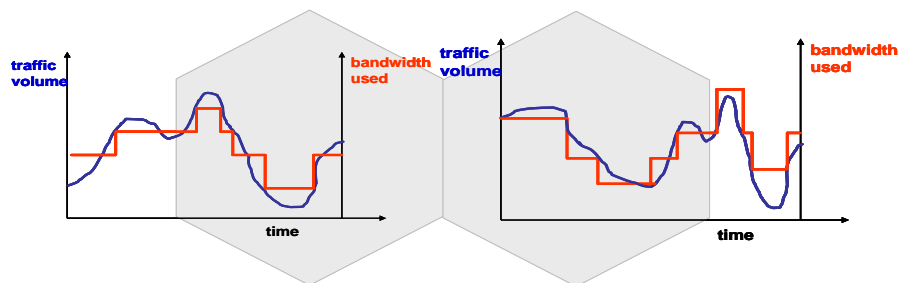
Miért kell fejleszteni?

Sikeresnek bizonyult a „mobil Internet”

- hazánkban minden harmadik szélessávú Internet előfizetés
- világszerte dinamikus növekedés
- átviteli sebességek: néhány Mbps elérhető HSPA-val
 - csatornától, userek számától, stb. függ
- az Internet technológia minden lehetőségének kiszolgálására még nem alkalmas (pl. szélessávú video, IPTV)

Új rádiós technológia kifejlesztése (előnyök)

- Korszerű rádióhálózat fejlesztésének lehetősége
- rugalmas frekvenciahasználat (különböző méretű és a 3G-nél szélesebb sávok használata)
- csomagkapcsolt forgalomhoz optimalizált
- a frekvenciasávon belül az erőforrás hatékony használata
- a pillanatnyi előfizetői forgalmi igényekhez való gyors és könnyű adaptáció
- a frekvencia-szelektív fadinghez való adaptáció lehetősége



LTE rádiós követelmények

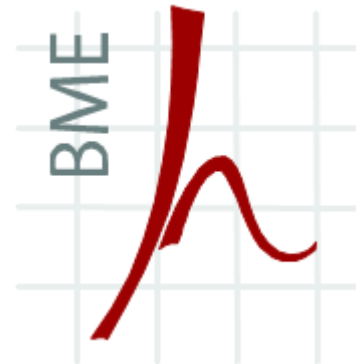
- legalább 100 Mbps DL és 50 Mbps UL átviteli csúcssebesség, 20 MHz használatával
 - nagyobb sáv szélességeken arányosan nagyobb
- FDD és TDD támogatása
- kis csomagkésleltetés a rádiós hozzáférési hálózatban (max. 5 ms alacsony terhelésnél)
 - kis méretű IP csomag késleltetése egy irányban, ha csak 1 terminál kommunikál
- 5 MHz-en egyszerre legalább 200 előfizető kiszolgálása egy cellában
 - nagyobb sáv szélességen legalább 400
 - nem aktív mobilok számára nincs explicit követelmény, de tipikusan jóval nagyobb

LTE rádiós követelmények

- többféle sáv szélesség támogatása (jelenleg: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz)
- az alaphoz (HSDPA) képest követelt relatív javulás
 - átlagos előfizetői átviteli sebesség (per MHz): downlink 3-4x, uplink 2-3x
 - átviteli sebesség a cella szélén: uplink, downlink 2-3x
 - spektrális hatékonyság: downlink 3-4x, uplink 2-3x
- mobilitás: csúcs teljesítőképesség 15 km/h sebességű felhasználóknál
 - 120 km/h-ig nagy teljesítőképesség
 - 350 km/h-ig kapcsolat fennmaradása (handover esetén is)
- lefedettség: 5 km-ig a teljesítőképesség javulást tartani kell
 - 30 km-ig némi romlás megengedett, de mobilitásban nem

LTE alapvető rádiós 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)



AZ LTE HÁLÓZAT: SAE

- Többféle hozzáférési hálózat támogatása
 - 3GPP és nem 3 GPP
 - fix hozzáférési rész
- Roaming
- Mobilitás a különféle hozzáférési hálózatok közt
- Any service IP alapon támogatása
- Interworking: PS és CS szolgáltatások közt

- Szigorú QoS biztosítása

- észrevehetetlen handover CS és PS beszédhálózat közt
- nincs adatvesztés fix és vezeték nélküli hozzáférés közti handovernél
- QoS : visszafelé kompatibilis 3GPP egyébvel (UMTS)

Fejlett biztonsági megoldások

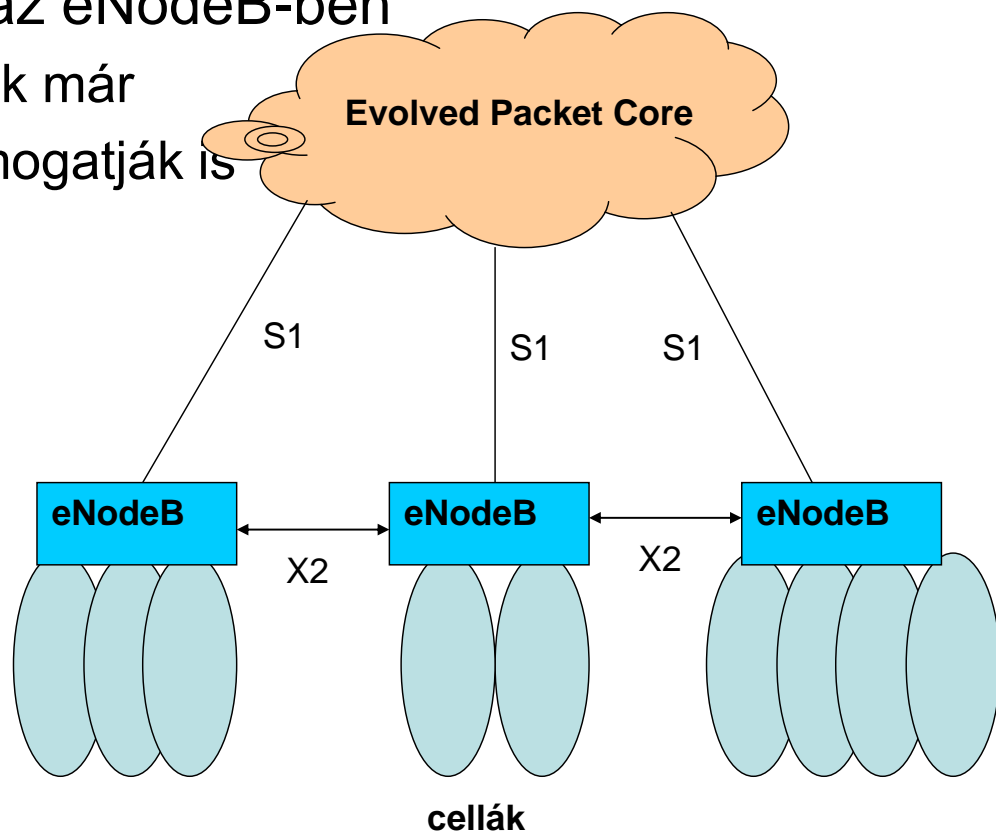
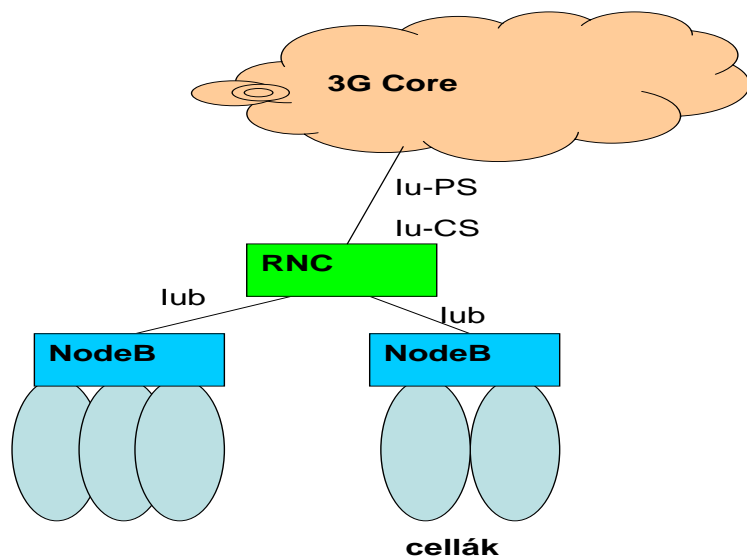
- támadások ellen
- privacy különböző szintjeinek támogatása (kommunikáció, helyzet, azonosság), ugyanakkor törvényes lehallgatás lehetősége
- védve: tartalom, küldő, fogadó kiléte és helyzete

- Rendszer architektúra:
 - a működéshez szükséges funkciók logikai csomópontokhoz rendelve
 - interfészek a csomópontok közt
 - két fő blokk: maghálózat (Core Network, CN): **EPC**, **Evolved Packet Core**, rádiós hozzáférési hálózat (Radio Access network, RAN): **E-UTRAN**

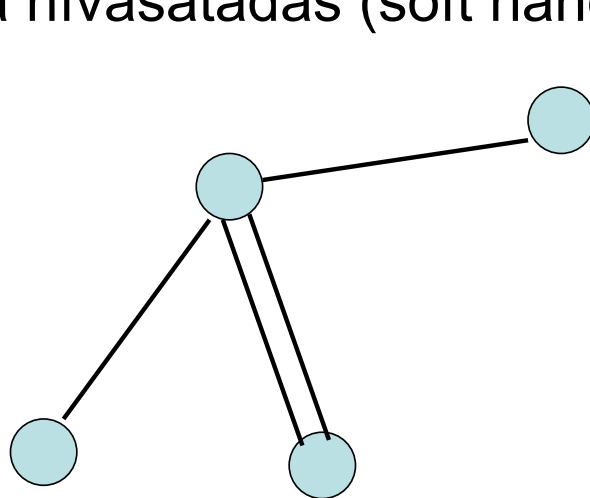
▪ E-UTRAN

- handover: adattovábbításon alapul
- állomások közti kommunikáció szükséges: rádiós erőforrás menedzsment, interferencia kontroll
- erre szolgál az X2 interfész
 - régi eNodeB továbbítja az új eNodeB-nek a usernek szóló IP csomagokat handover után
- felépítése hasonló a 3G Iur-hez (RNC-k közti interfész)
- topológiai vonatkozások

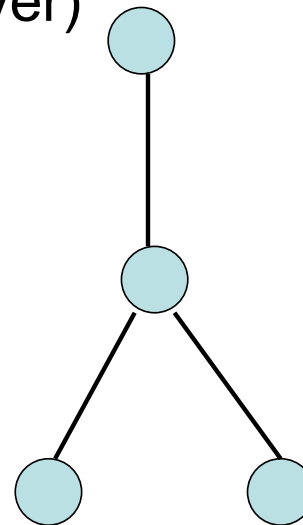
- E-UTRAN architektúra változások
 - nincs központi elem (RNC)
 - a korábbi RNC funkciók az eNodeB-ben
 - ilyen 3G NodeB is létezik már
 - HSPA+ szabványok támogatják is



- E-UTRAN architektúra változások
 - nincs makro diverziti
 - megoldható lenne, de nem hoz annyi nyereséget, mint komplexitást
 - nincs puha hívásátadás (soft handover)



makrodiverziti központi elem nélkül



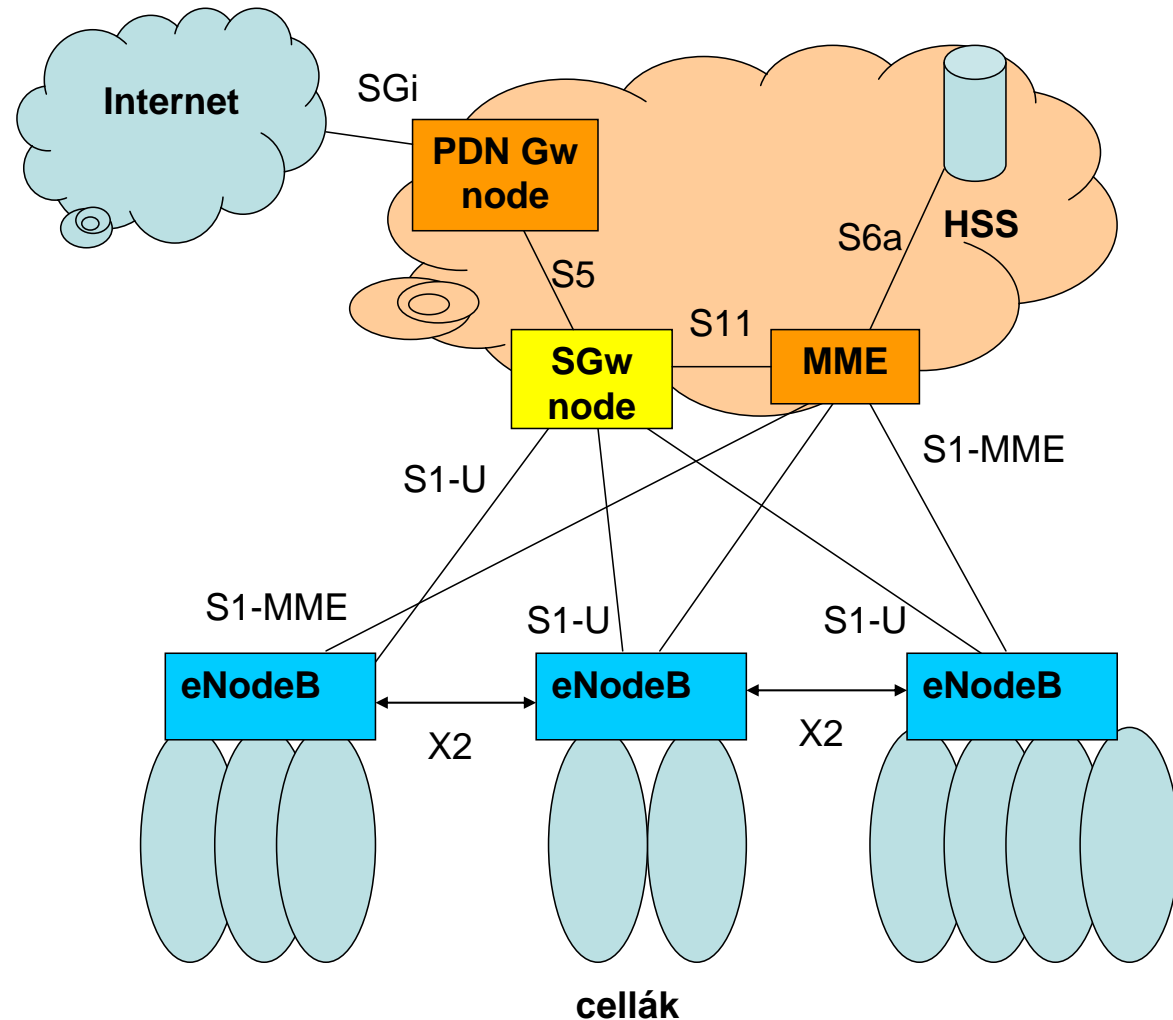
makrodiverziti központi elemmel

- RAN funkciók LTE, az eNodeB végzi
 - hibavédő kódolás, interleaving, keretezés, FFT/IFFT, moduláció, erősítés, detekció, felkeverés, szűrés, más fizikai réteg funkciók;
 - ARQ, HARQ, fejléc tömörítés, ütemezés, keretezés, szegmentálás/keretösszevonás, stb. egyéb második réteg funkciók;
 - rádiós erőforrás menedzsment, handover stb., rádiós kapcsolat vezérlése, más rádiós erőforrás kontroll funkciók
 - biztonsági funkciók: titkosítás, adat integritás megőrzése

- Fejlett csomagkapcsolt maghálózat
- EPC Evolved packet Core
 - PDNGw, SGw, MME
 - + HSS (=HLR+AuC) megmaradt a korábbi hálózatokból
 - EPC-HSS között S6
 - EPC-Internet között SGi

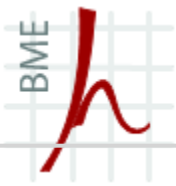
SAE EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobilitás kezelő** egység: Mobility Management Entity (MME)
- **Kiszolgáló átjáró** egység: Serving Gateway
- **Adathálózati átjáró** egység: Packet Data Network (PDN) Gateway



SAE EPC architektúra

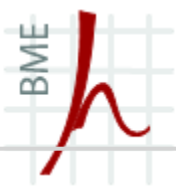
- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobility Management Entity (MME)**
 - a vezérlő sík megvalósítója az EPC-ben
 - mobilitás támogatás
 - előfizető helyének lekérdezése
 - paging megfelelő helyre küldése
 - útvonalválasztás az előfizető pozíciójának megfelelően
 - minden egyéb vezérlési feladat: hordozó felépítése, autentikáció, titkosítási kulcsok cseréje, stb.
 - kontroll sík az S1 interfészen: S1-MME
 - nagyon hasonló a 3G hálózat Iu-PS vezérlési síkjához



SAE

EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Serving Gateway (SGw)**
 - az előfizetői adatok továbbítója az EPC és az eNodeB között
 - az S1-U nagyban hasonlít a 3G Iu-PS –hez
 - S1-U működése
 - felhasználó IP csomagjának továbbítása „alagúton” az eNodeB felé/től
 - alagút: új IP protokoll fejléc, új címmel, az előfizető helyének megfelelően
 - a cím meghatározza hova menjen a csomag



SAE

EPC architektúra

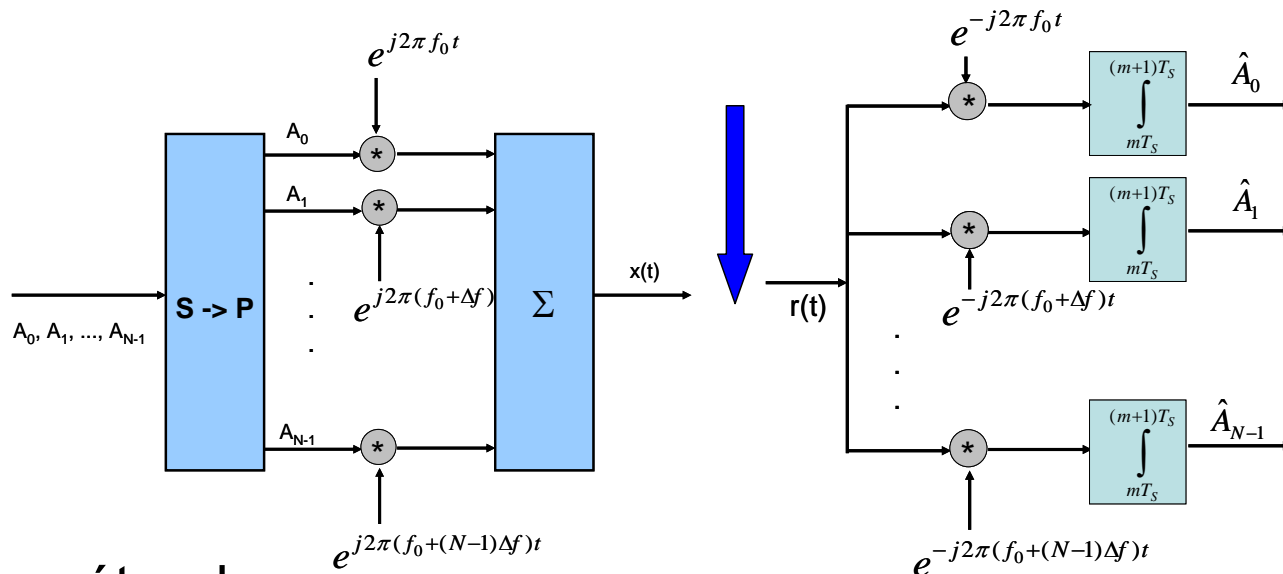
- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **PDN Gateway (PDN Gw)**
 - az interfész a külső csomagkapcsolt hálózatok felé
 - Internet, más szolgáltató hálózata, nem LTE hálózat
 - az LTE mobilitás gyökere
 - egy kapcsolat alatt a külső hálózati forgalom egy PDN Gw berendezésen keresztül megy, akárhová mozog is az előfizető
 - azonban az SGw továbbítja az IP csomagokat a kiszolgáló eNodeB felé
 - a maghálózatban látszik a mobilitás
 - minden cellaváltásnál új „alagútban” megy a forgalom az eNodeB felé/től
 - ez nagy különbség a 3G-hez képest, ahol az RNC elfedte a lokális mobilitást (RNC-ig kellett az IP alagutat vezetni)



SAE

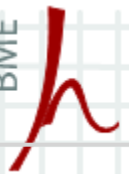
Architektúra

- Még egy entitás
- PCRF Policy and Charging Rules Function
 - az előfizetői kapcsolatokat érintő szabályok és eljárások
 - a számlázási szabályok
- Rugalmasság
- S1 flex
 - egy eNodeB csatlakozhat több S1 interfészen több Sgw-hez is
 - robusztusság, rugalmasság
 - hálózati infrastruktúra megosztása (közös eNodeB, saját EPC)



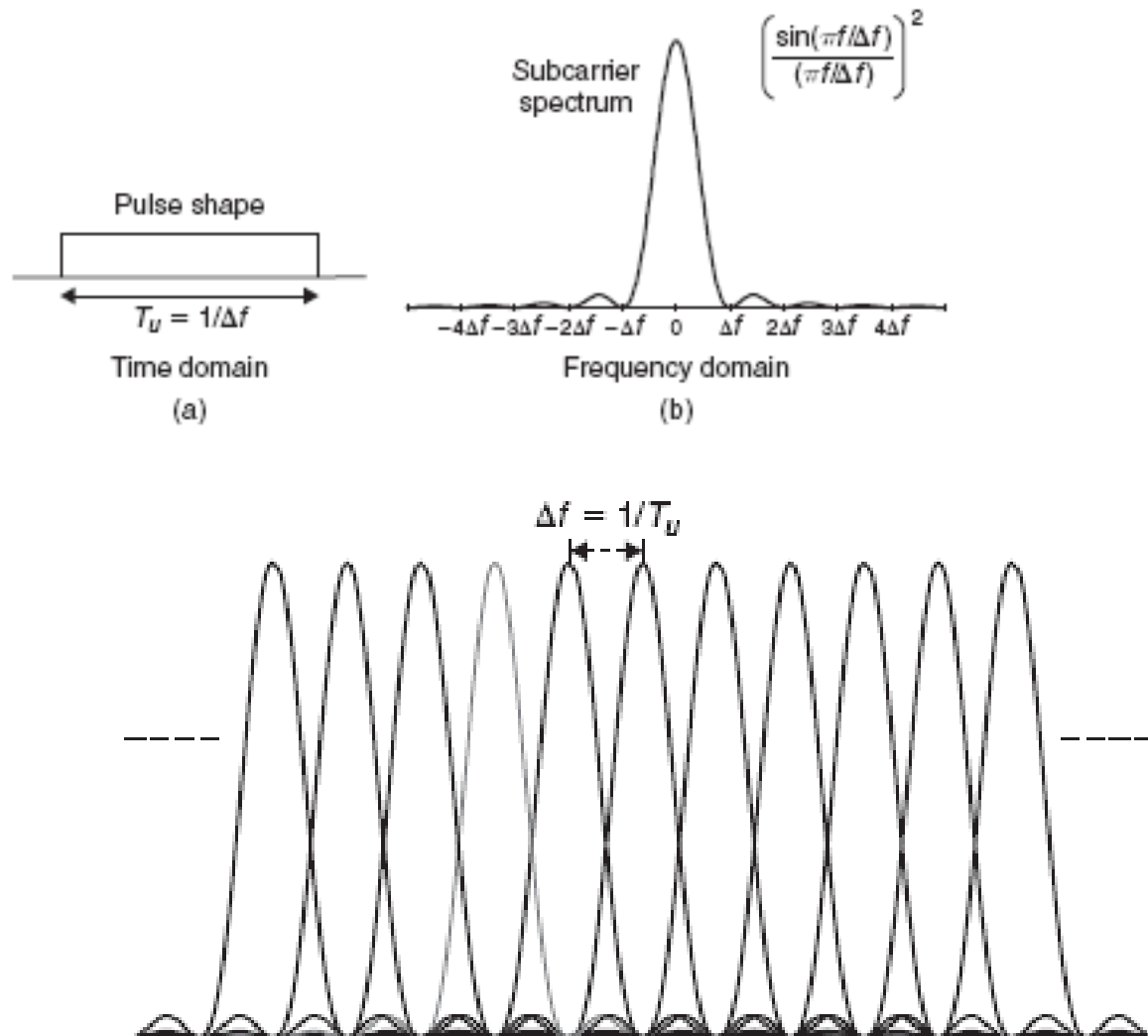
OFDM paraméterek

- általában OFDM: csak úgy működik, ha $\Delta f = 1/T_s$
- segédvívők távolsága 15 kHz (Δf)
- ennek megfelelően a szimbólumidő 66.67 μs
- ciklikus prefix (~védőidő): 5.2 μs az időzés első szimbóluma előtt, 4.7 μs a többi szimbólum előtt (normál prefix), vagy 16.7 μs (bővített prefix)
- $\Delta f = 7.5$ kHz is definiált, multicast hálózatokhoz (műsorszórás az LTE hálózaton)



Új rádiós interfész

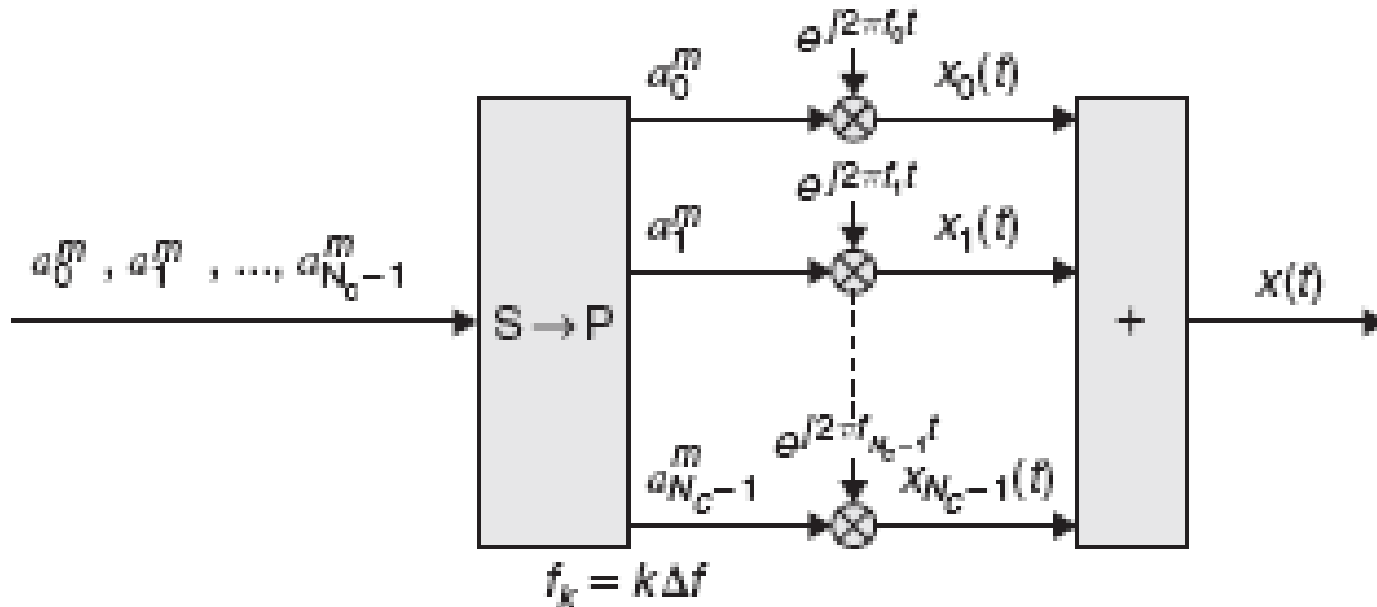
- OFDM

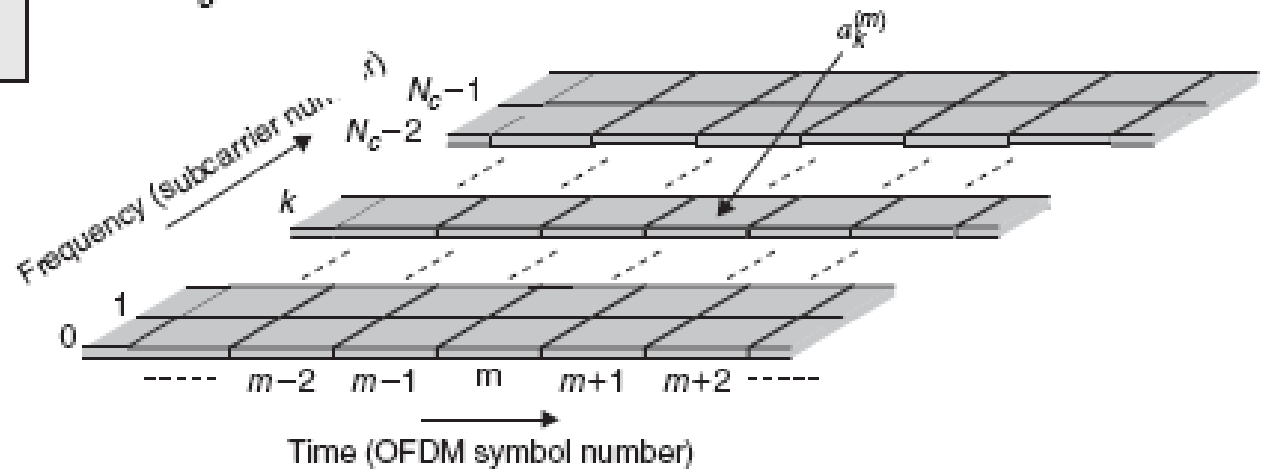
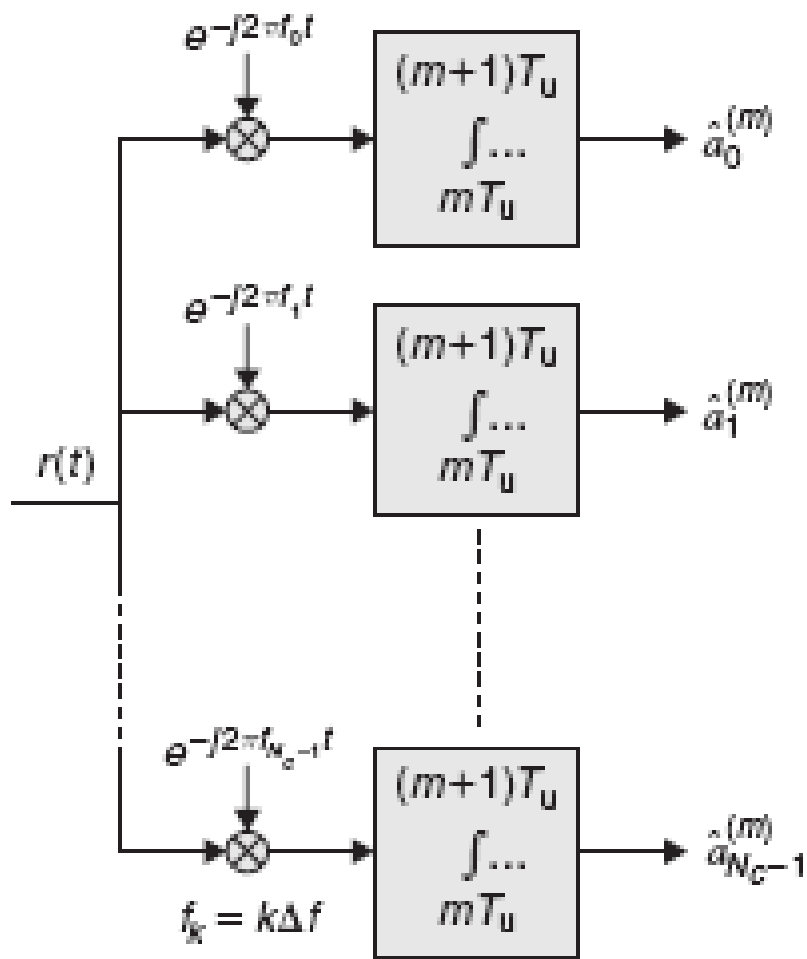


OFDM

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

$$\int_{mT_u}^{(m+1)T_u} x_{k_1}(t) x_{k_2}^*(t) dt = \int_{mT_u}^{(m+1)T_u} a_{k_1} a_{k_2}^* e^{j2\pi k_1 \Delta f t} e^{-j2\pi k_2 \Delta f t} dt = 0 \quad \text{for } k_1 \neq k_2 \quad (4.2)$$





To confirm this, consider a time-discrete (sampled) OFDM signal where it is assumed that the sampling rate f_s is a multiple of the subcarrier spacing Δf , i.e. $f_s = 1/T_s = N \cdot \Delta f$. The parameter N should be chosen so that the sampling theorem [50] is sufficiently fulfilled.¹ As $N_c \cdot \Delta f$ can be seen as the nominal bandwidth of the OFDM signal, this implies that N should exceed N_c with a sufficient margin.

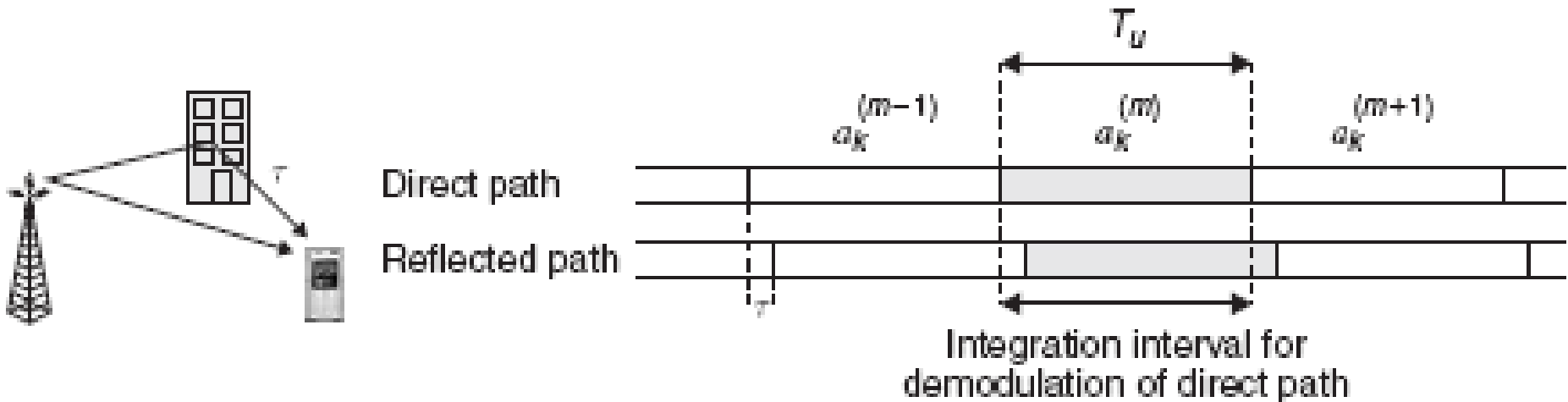
$$x_n = x(nT_s) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi k \Delta f n T_s} = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi k n / N} = \sum_{k=0}^{N-1} a'_k e^{j2\pi k n / N}$$

where

$$a'_k = \begin{cases} a_k & 0 \leq k < N_c \\ 0 & N_c \leq k < N \end{cases}$$

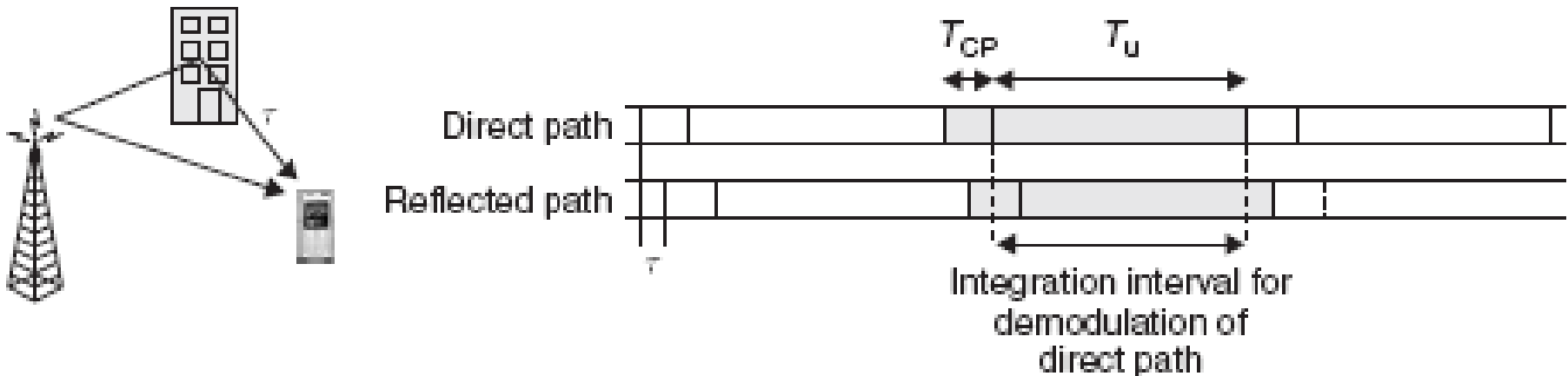
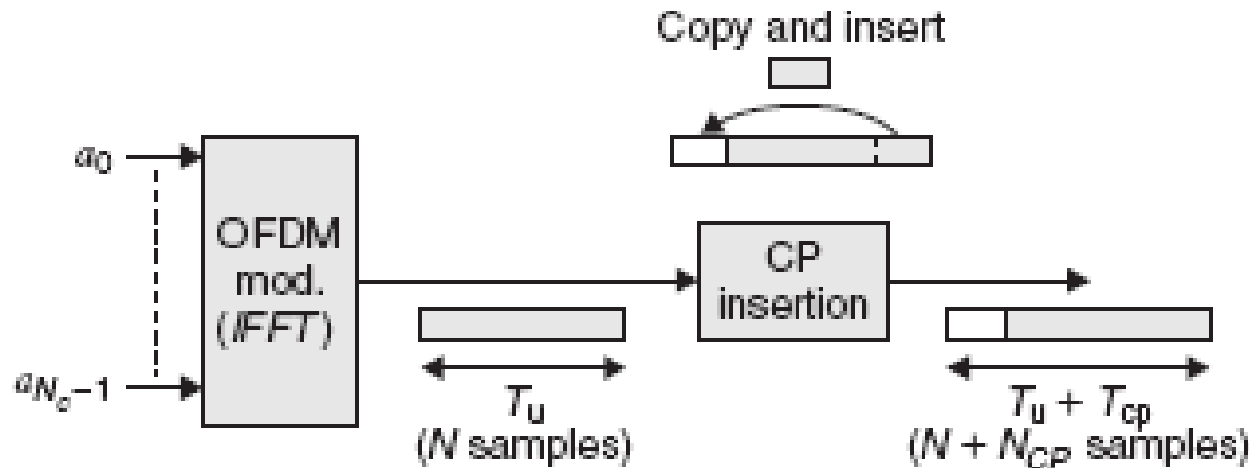
OFDM

- szimbólumközi áthallás: egy vivőn
- vivők között is! (az ortogonalitás elvesz: a szimbólumidőnyi integrálásban nem egész számú periódus lesz az egyik jelből)



OFDM

- megoldás: ciklikus prefix: szimbólum vége (minták) az elejére másolva, vivőtávolság marad!
- lassabb átvitel, teljesítmény pazarlása



If OFDM is to be used as the transmission scheme in a mobile-communication system, the following basic OFDM parameters need to be decided on:

- The subcarrier spacing Δf .
- The number of subcarriers N_c , which, together with the subcarrier spacing, determines the overall transmission bandwidth of the OFDM signal.
- The cyclic-prefix length T_{CP} . Together with the subcarrier spacing $\Delta f = 1/T_u$, the cyclic-prefix length determines the overall OFDM symbol time $T = T_{CP} + T_u$ or, equivalently, the OFDM symbol rate.

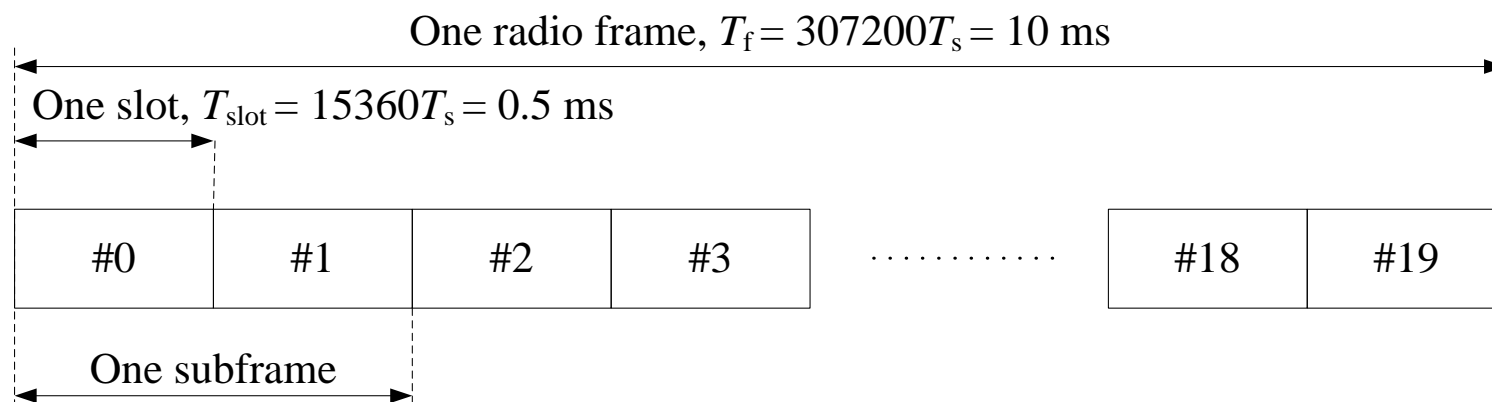
4.8.1 OFDM subcarrier spacing

There are two factors that constrain the selection of the OFDM subcarrier spacing:

- The OFDM subcarrier spacing should be as small as possible (T_u as large as possible) to minimize the relative cyclic-prefix overhead $T_{CP}/(T_u + T_{CP})$, see further Section 4.8.3.
- A too small subcarrier spacing increases the sensitivity of the OFDM transmission to Doppler spread and different kinds of frequency inaccuracies.

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 időrés



- Adaptív 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

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

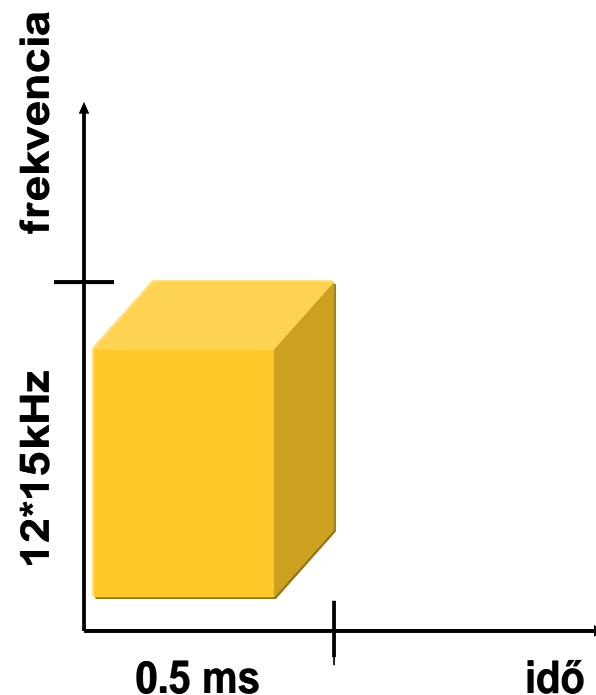
■ Moduláció

- 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

- Fizikai szintű rádiós erőforrás
 - fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block, PRB)
 - 12 segédvivő ($12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$)
 - 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



- 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

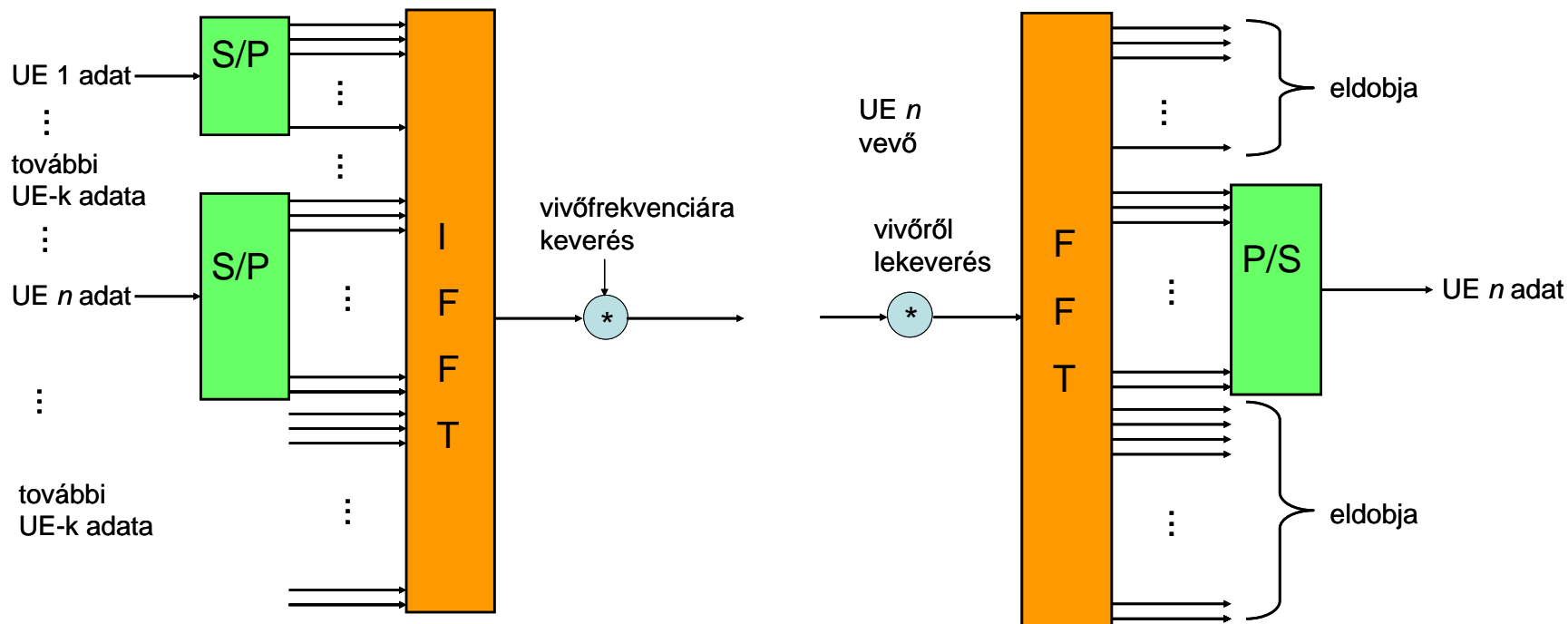
- egy bázisállomásnak minimum 6 PRB-t kell tudni kezelni
 - ez védősávokkal, DC vivővel 1.4 MHz

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

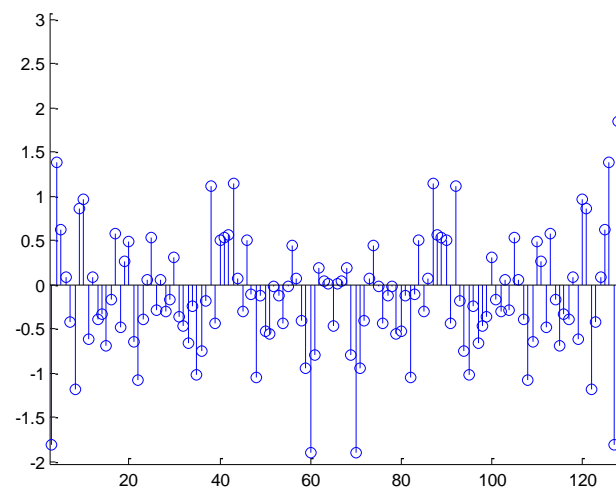
Megvalósítás a gyakorlatban

- UE sáv szélesség: hány IFFT bemenet
- frekvenciában hol: melyik IFFT bemeneteken



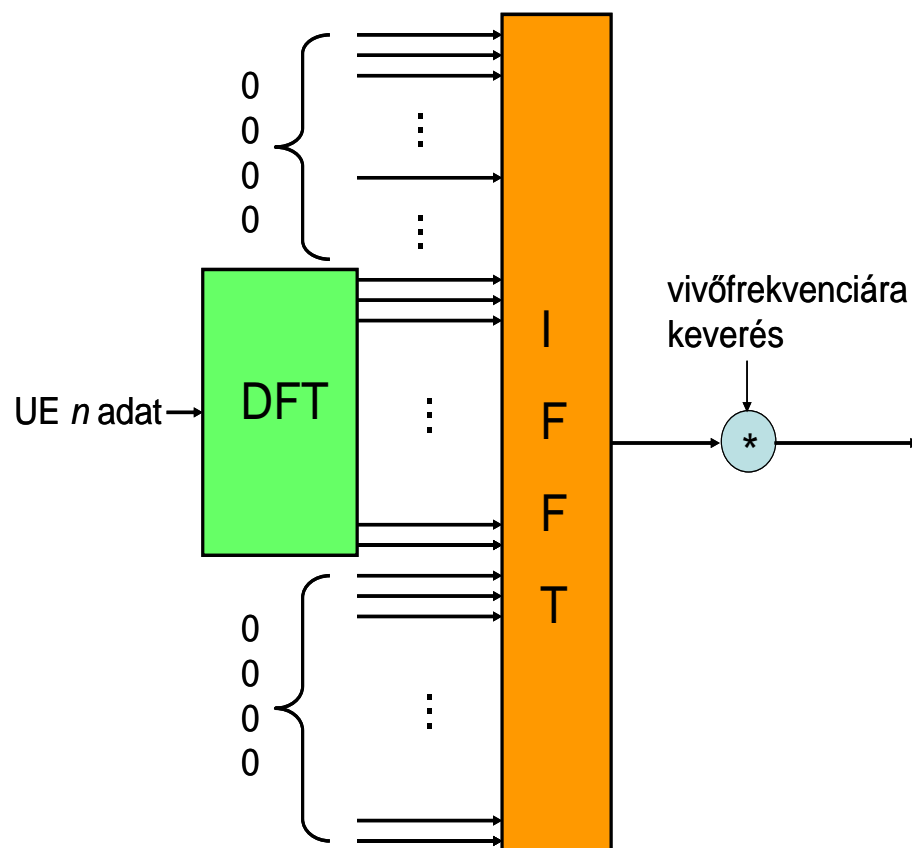
Megvalósítás a gyakorlatban

- jellemző: nagy dinamikataromány (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



Uplink megoldás

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

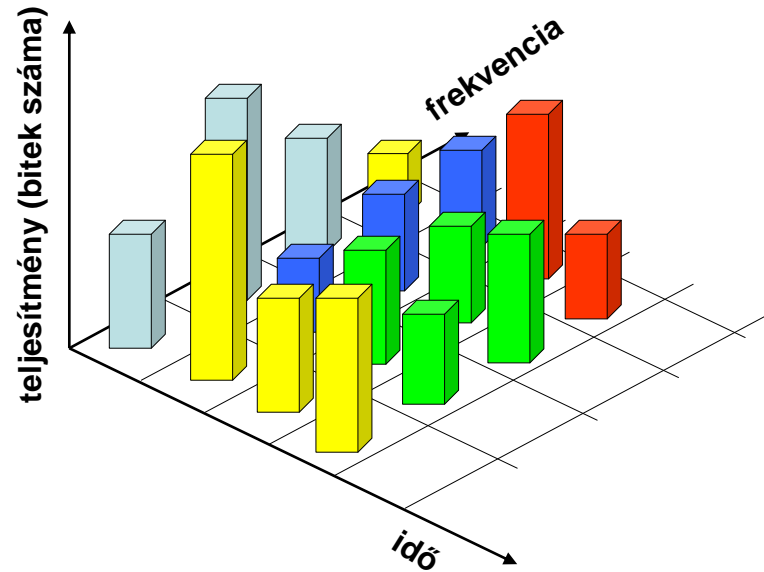


■ Osztott csatorna megközelí

- erőforrás rács: frekvencia
 - idő-frekvencia rács
- a bázisállomás ütemezője
- nem szabványos

■ Ütemezési feladat

- melyik PRB-t
- melyik időrészben
- mekkora adóteljesítmén
jel/zaj viszony \rightarrow kisebb redundancia, magasabb állapotú moduláció \rightarrow több hasznos bit/PRB)
- melyik előfizető részére
- összes adóteljesítmény, PRB-k száma, időrészek száma korlátos

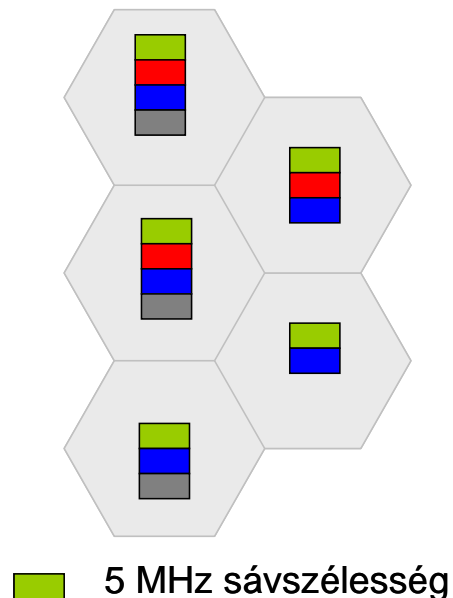


Hogyan legyenek a sávok kiosztva?

- 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



A rendszer gondoskodjon az interferencia elkerüléséről!

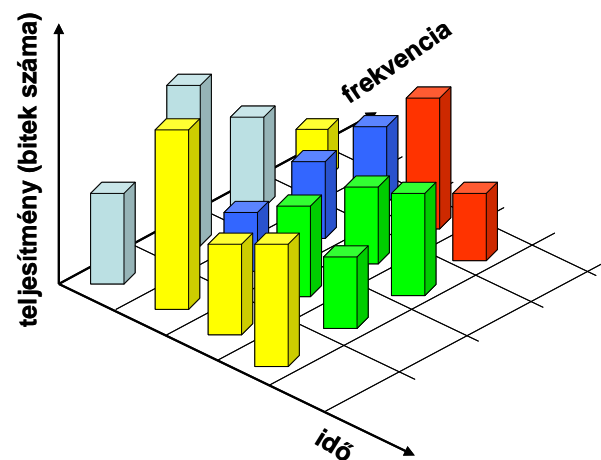
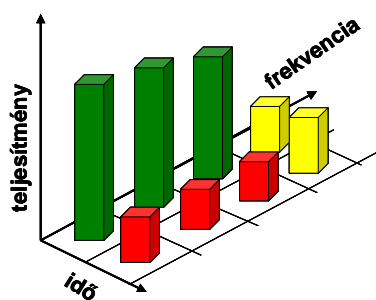
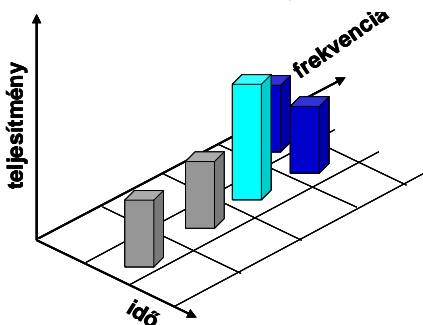
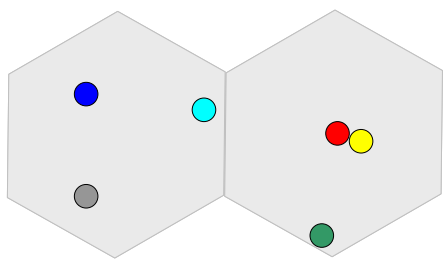
Elosztott ütemezés: ütemező az eNodeB-kben

- 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

Elosztott ütemező: 3 dimenziós erőforrás kiosztása

- minden bázisállomás ugyanazt az erőforrás-rácsot használja

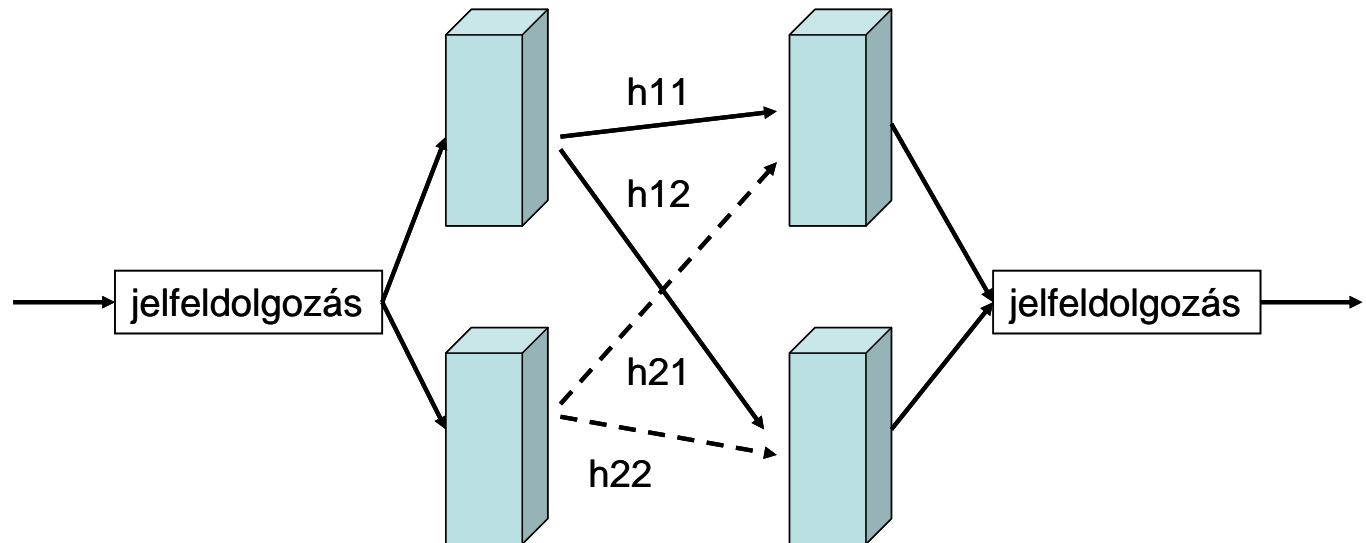
Közeli termináloknak kis teljesítménnyel azonos PRB kiosztható



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

■ MIMO – Multiple Input Multiple Output

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

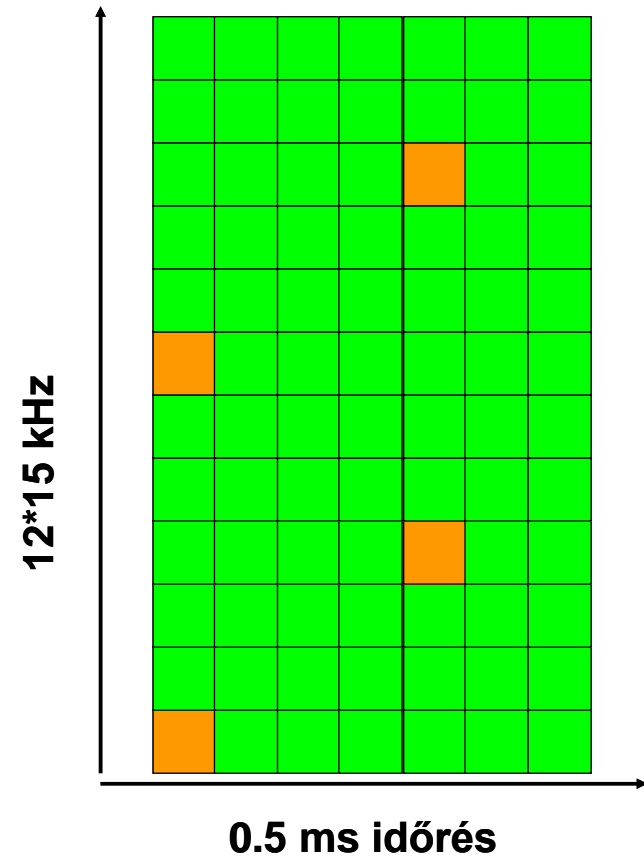


- MIMO – Multiple Input Multiple Output
 - antennák elhelyezése: „elég messze”, terminálon bajos lehet (pl. laptop 4 sarka)
 - használati lehetőségek:
 - **nyalábformálás**: adott irányban nagyobb az antenna „erősítése” -> jobb lefedettség az irányban
 - adóoldali/vevőoldali **diverziti**: a több antennán 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

▪ MIMO az LTE -ben

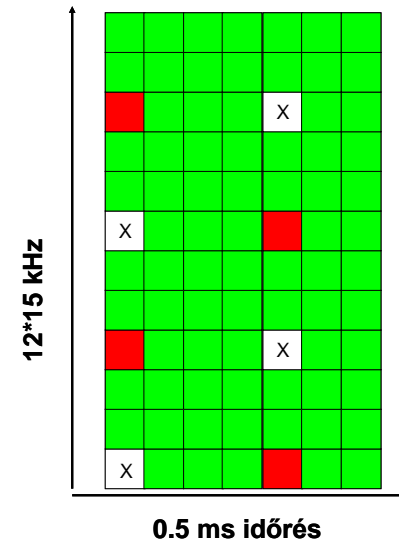
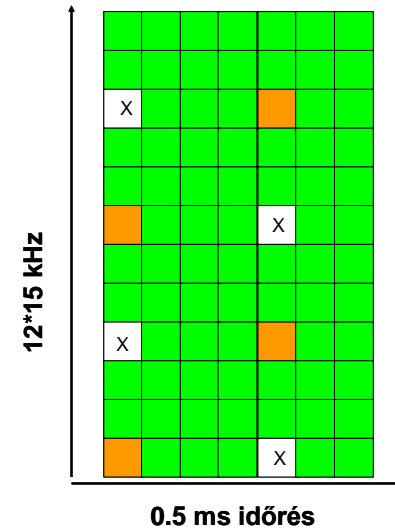
- 2 vagy 4 antenna mindkét oldalon
- rétegek: jelek előfeldolgozása
 - pl. 1 réteg – 1 adóantenna
 - 1 réteg – 2 adóantenna
- antennára kerülés előtt: előkódolás
- térbeli multiplexálás: egyidejűleg maximum két csomag adása/vétele (4 antenna esetén is)
 - sebesség duplázása lehetséges

- 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



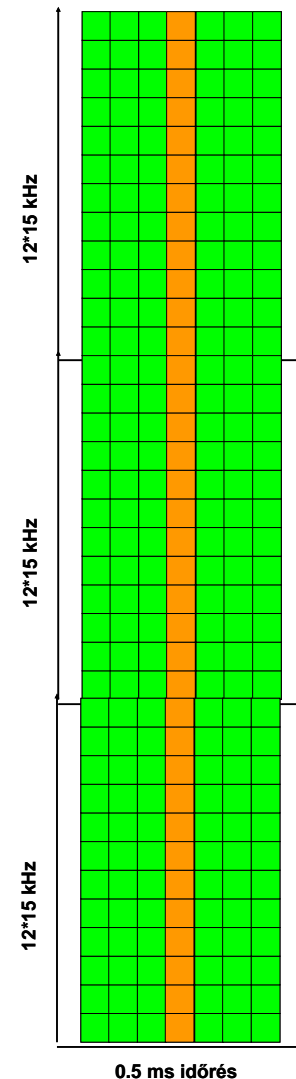
■ Többantennás eset

- 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



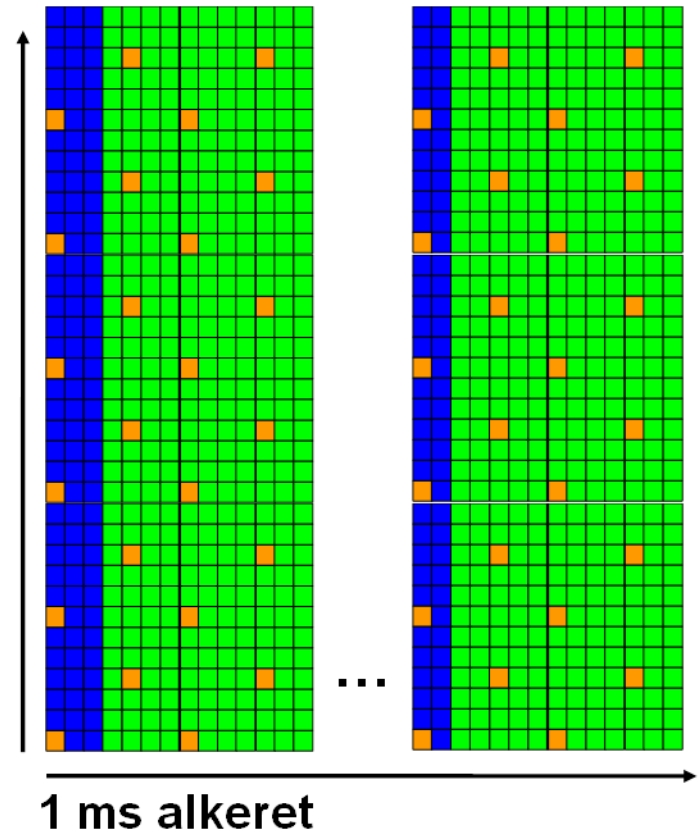
Uplink referencia jelek

- uplink csatornaminőség becsléséhez, illetve koherens vételhez itt is szükség van referencia jelre
- frekvenciában multiplexálni az adattal nehézkes lenne (a DFT-IFFT miatt)
- időben van multiplexálva az adattal: minden időrésben a negyedik OFDM szimbólum, a teljes UE által használt sáv szélességben (6/7-es kihasználtság)
- megfelelő jelek definiálva, szomszédos cellák UE-jei ne zavarják egymást
- csatornamérés: teljes sáv szélességben kellene ismerni
 - időnként UE a teljes sávra kiterjedő referencia jelet ad (channel sounding)

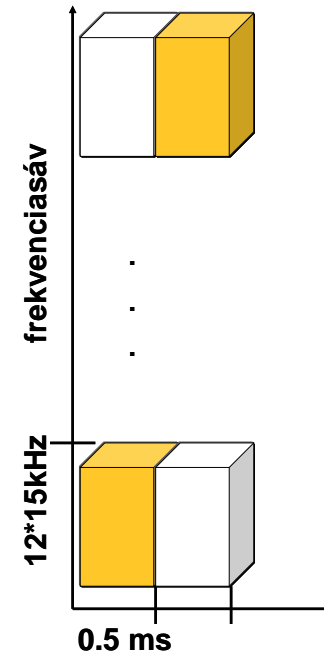


Letöltési irányú vezérlőinformációk

- 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)



- 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

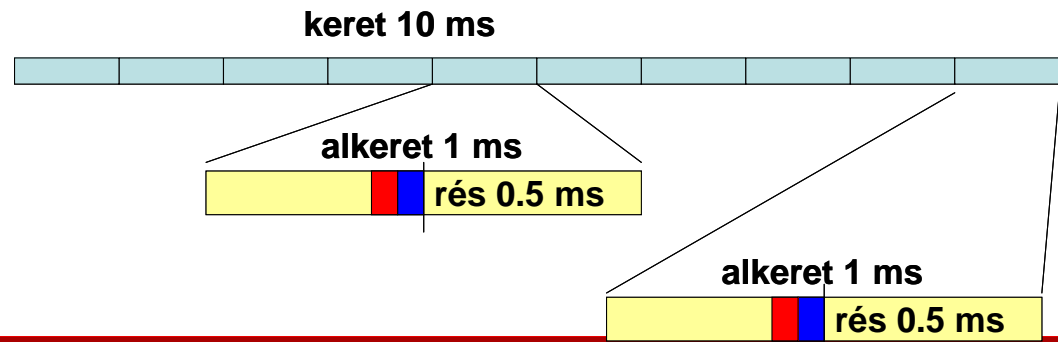


■ Kommunikáció előtt

- hálózatot kell találni
- szinkronizálódni kell a cellában alkalmazott keretszerkezethez

■ Szinkronizációs jel

- elsődleges és másodlagos szinkronizációs jel
- az első és hatodik alkeret első időrészében az utolsó két szimbólumban
- frekvenciában: a sáv közepén 6 PRB



■ Cellakeresés

- háromféle elsődleges szinkronizációs jel van
- a mobil ezekre illesztett szűrővel keresi
- hol keresi (milyen frekvenciasávban): a készülékbe táplált lehetséges vivőkön, illetve korábbi tapasztalatok alapján
- ha megvan: 5 ms (fél keret) szinkronba kerül
 - továbbá: a cellaazonosító csoporton belül (3 féle) megvan a cellaazonosító jel
- ezután: másodlagos szinkronizációs jel párokat keres (s_1 , s_2 a két félkeretben)
 - ha ez megvan, akkor a keretszinkron is
 - továbbá: a másodlagos szinkron jel egyértelműen azonosítja a cellaazonosító csoportot

▪ Release 10 és utána

- ebben definiált működésekkel elérhető a 1Gbps (eredeti ITU 4G definíció)
- fő képességek: vivőaggregáció (carrier aggregation)
 - több, egyenként is széles vivősáv együttes használata
 - pl 2x10 Mhz; 3x20 MHz; Release 10: max. 5x20 MHz
 - lehet folytonos: egymás melletti sávok; sáv tartományon belül
 - nem folytonos: egymáshoz közel, ugyanabban a tartományban, de nem szomszédos sávok; sáv tartományok között: különböző sáv tartományokban egy-egy, vagy több csatorna: pl. 3x20 MHz 800 MHz, 1800 MHz és 2600 MHz sávban
- többfelhasználós MIMO (Multi-User MIMO)
 - több, egyszerre küldött adatstream több felhasználónak megy
 - nem növeli az egyes felhasználó átviteli sebességét, de növeli az összes cellaátvitelt
- 256 QAM

▪ példa:

- 20 MHz LTE 2x2 MIMO: 150 Mbps elérhető, ez a rádiós asztal tetején (kb. hasznos, nettó sebesség)
- nemrég bekapcsolta a Telekom Gödöllőnél:
 - 450 Mbps: 3 db 20 Mhz élő aggregációja, 2x2 MIMO
- nemrég demonstrálta Ericsson, Telekom:
 - 1200 Mbps, hogy jön ki?
 - 256 QAM: x1.33 64 QAM-hez képest
 - 4x4 MIMO: x2 2x2 –höz képest
 - 3x20 MHz
- meddig lehet LTE-vel elmenni?
 - Release 13: 32 élő aggregációja (!) – senkinek nincs ennyi sávja
 - ...
 - pl. 8x8 MIMO, 32x20MHz, 256QAM: 19.2 Gbps ,
 - ez jó lesz valszleg 5G –re is ...