

Kommunikációs hálózatok 2

Mobiltelefon-hálózatok: UMTS

Németh Krisztián
BME TMIT
2020. március 24-31.



3G



UMTS (3G)



*Egy tipikus 3G telefon: SonyEricsson Z610i (2006)
Kicsi, csinos, színes, nyomógombos. Operndszere
nem volt, Java alkalmazásokat (játékokat)
lehetett rajta futtatni*

3G

- ITU specifikálta, mit kell tudnia egy 3G rendszernek
 - pl. min. 200 kb/s adatátviteli sebesség
 - ITU = International Telecommunication Union
- Két elterjedtebb megvalósítás
 - UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service)
 - Európa, Japán, Kína, stb.
 - GSM-mel kompatibilis végberendezések
 - 2001-től
 - CDMA2000
 - Észak-Amerika, Dél-Korea
 - cdmaOne (IS-95) 2G rendszerrel kompatibilis végberendezések
 - 2002-től

UMTS

- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Egyetemes mobil távközlési rendszer
- UMTS célok:
 - GSM-nél jobb beszédhangminőség
 - GSM-nél jobb frekvenciakihasználtság
 - GSM-nél nagyobb adatátviteli sebesség
 - GSM kompatibilitás

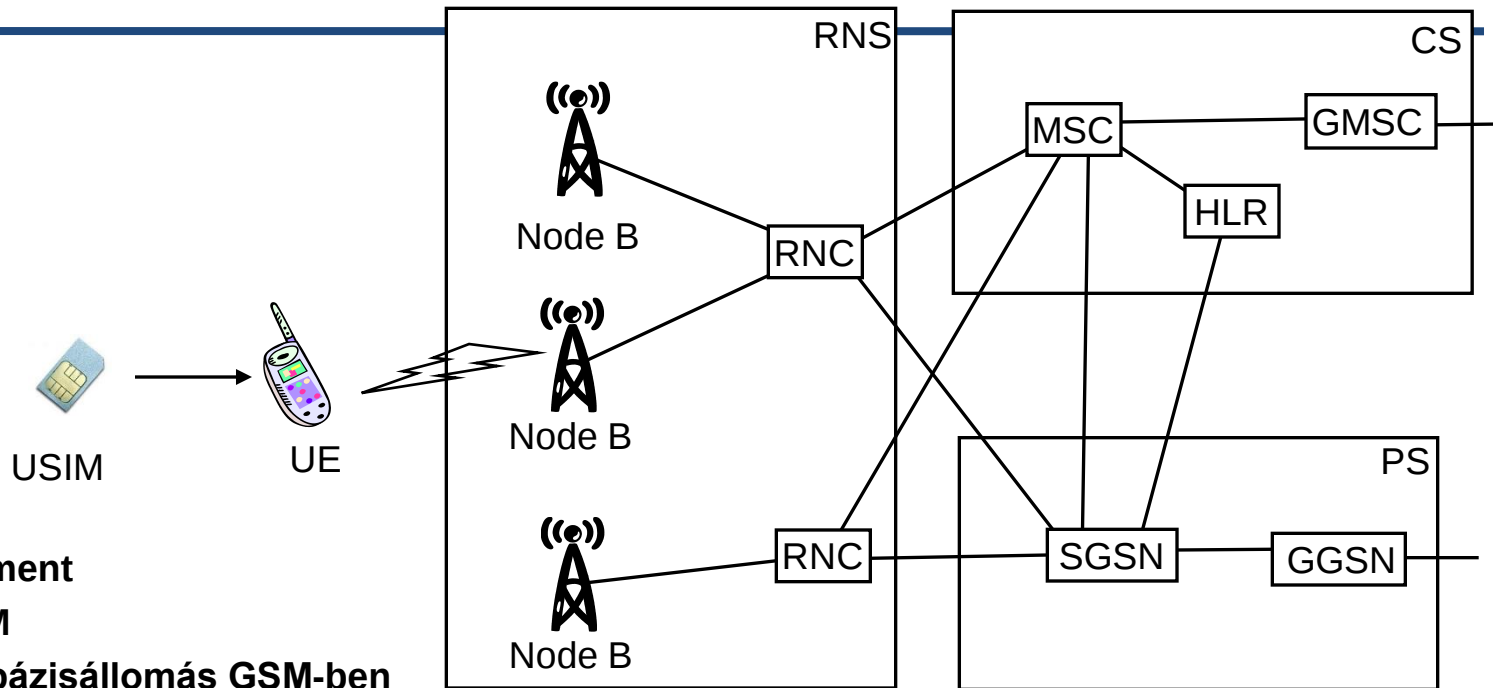


UMTS szolgáltatások



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

Az UMTS hálózat



UE: User Equipment

USIM: UMTS SIM

Node B: mint a bázisállomás GSM-ben

RNC: Radio Network Controller, Rádiós hálózati vezérlő (mint a bázisállomás-vezérlő GSM-ben)

RNS: Radio Network Subsystem, Rádiós hálózati alrendszer

MSC, HLR: mint GSM-ben

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

CS: Circuit Switched, áramkörkapcsolt alrendszer

SGSN: Serving GPRS Support Node, csomagkapcsolást végez

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

PS: Packet Switched, csomagkapcsolt alrendszer

Duplexitás kezelés UMTS-ben



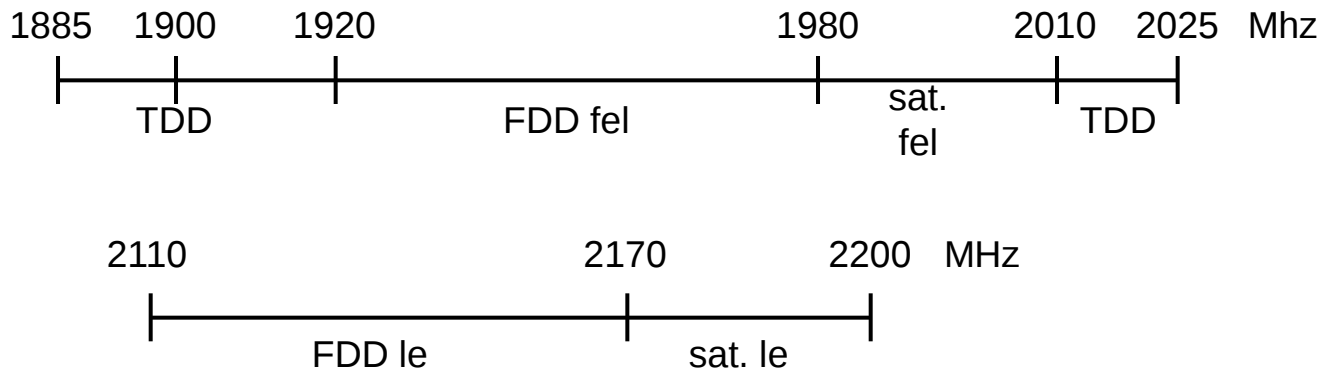
- Feladat: fel- és lefele irányú adatok elkülönítése
- Alkalmazott lehetséges megoldások:
 - időben
 - frekvenciában
- Mindkettőt használják UMTS-ben (de nem egyszerre)
 - FDD: Frequency Division Duplexing
 - nagyobb frekvencia a lefele irányban (nagyobb csillapítás → nagyobb teljesítmény kell)
 - TDD: Time Division Duplexing
 - a fel- és letöltés időben váltakozik ugyanabban a frekvenciasávban
 - előnye: a fel/letöltés aránya dinamikusan változtatható az aktuális igények függvényében

Rádiós közeg

A konkrét
frekvenciatartományokat nem
kell megtanulni.



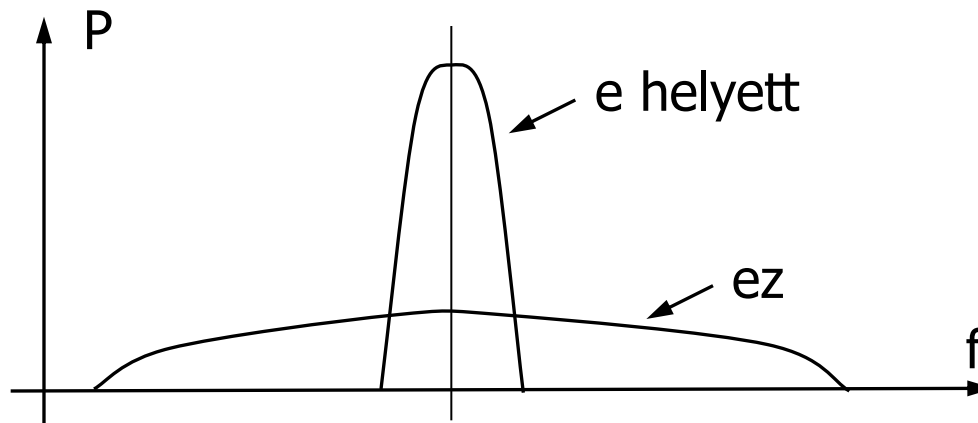
- Frekvenciák:
 - 1885-2025 és 2110-2200 MHz:
 - TDD: 1885-(1900-)1920 MHz és 2010-2025 MHz
 - FDD: 1920-1980 (fel) és 2110-2170 (le)
 - műholdas (csak terv): 1980-2010 MHz (fel) és 2170-2200 MHz (le)
 - Nagy frekvencia: csupán pár (3-5) km átmérőjű cellák
 - A frekvenciákat 5 MHz-es csatornákra osztják, melyekben CDMA-t használnak
 - egy szolgáltató néhány csatornát, különböző szolgáltatók különböző csatornákat



Rádiós közeg

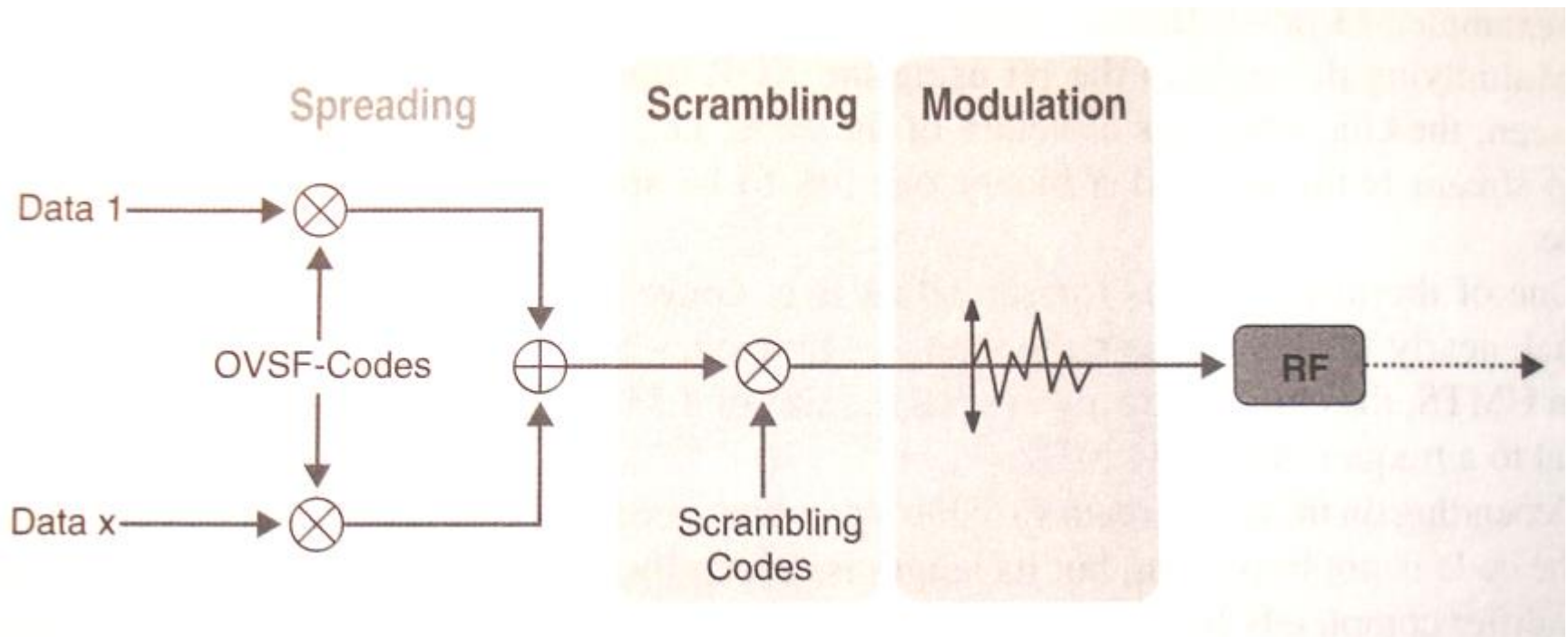


- Közeghozzáférés:
 - **CDMA**, Code Division Multiple Access, kódosztásos többszörös hozzáférés (KH1 tárgy már érintette)
 - pontosabban: DS-CDMA (ld. hamarosan)
 - Ugyanaz a frekvencia, ugyanaz az idő, más kód
 - példa: soknyelvű reptéri váró
 - Minden jel „szétkenve” a teljes spektrumra, de kis teljesítménnyel
 - Cél: jobb spektrumkihasználtság



UMTS kódosztás

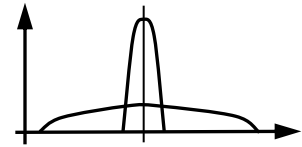
- A kódolás két menetben történik
 - csatornázási kód (channelisation code)
 - kiterjesztés / spreading néven is fut
 - keverő kódolás (scrambling)
 - utána jön a rádiófrekvenciás modulálás, kisugárzás



UMTS kódosztás

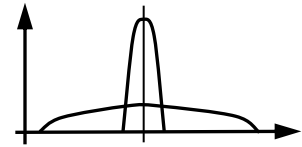
- A kódolás két menetben történik
 - csatornázási kód (channelisation code)
 - keverő kódolás (scrambling)
- Sőt, a nulladik lépés a csatornakódolás (channel coding)
 - ez nem ugyanaz, mint a csatornázási kódolás
 - ez hibajavító kódolás (avagy előremenő hibajavítás, forward error correction, FEC)
 - továbbiakban erről nem lesz szó

Csatornázási kód



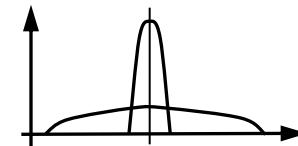
- Működés: DS-CDMA (Direct Sequence CDMA, közvetlen sorozatú CDMA)
 - a digitális jelet összeszorozzuk egy ún. szóró kóddal (spreading code), és ezt sugározzuk ki
 - a szorzás pontosabban: $\text{NOT}(\text{XOR}(\text{bit1}, \text{bit2}))$
 - a kisugárzott jel hozzáadódik a többi adó által kisugárzottéhoz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

Kódosztás

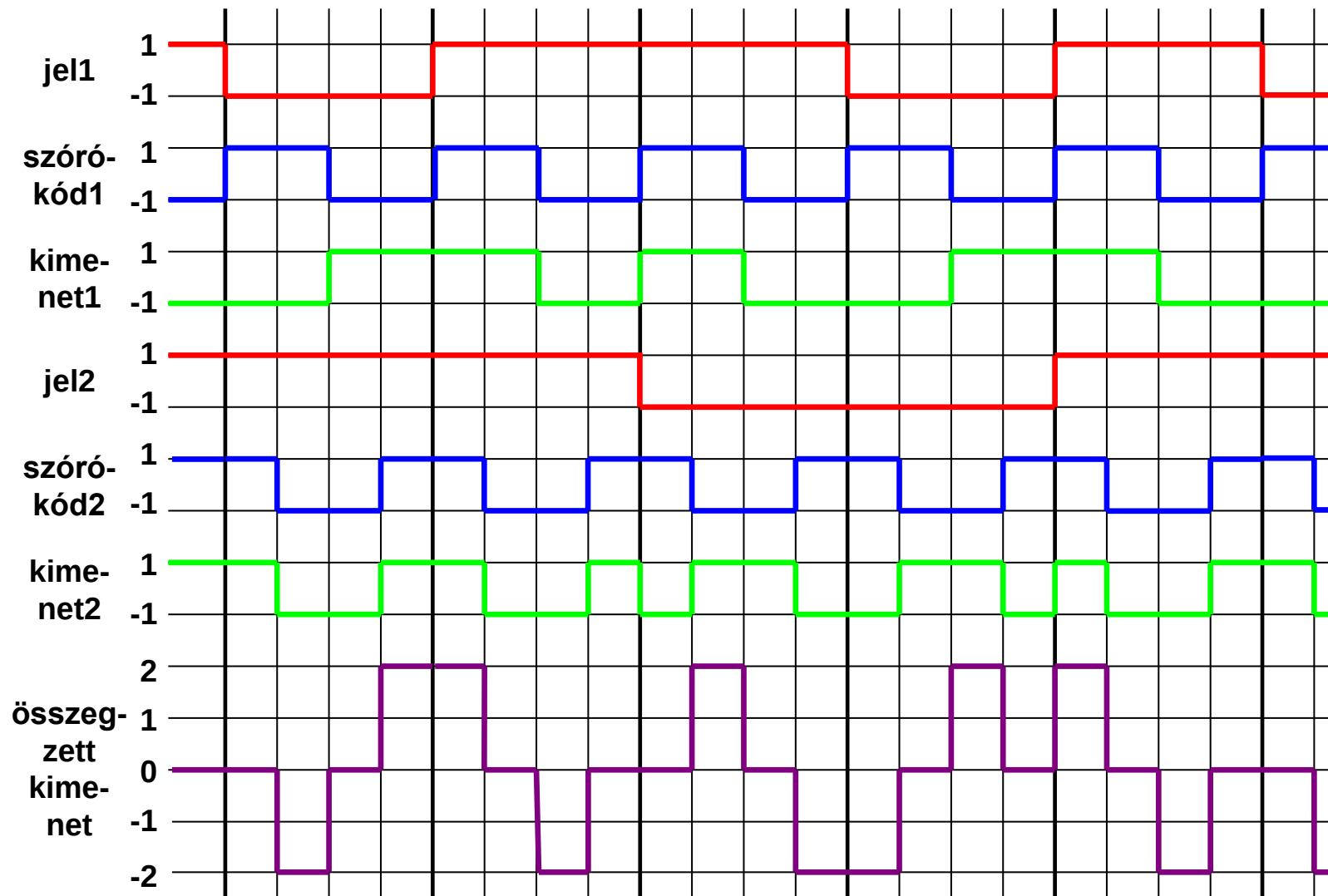


- Kicsit részletesebben:
- Kódolás
 - STEP 1. A szóró kódot és az elkódolni kívánt adatot is reprezentáljuk a következőképp:
 - $1 \rightarrow 1$
 - $0 \rightarrow -1$
 - Vegyük észre: ekkor $\text{NOT}(\text{XOR}(a,b))$ valójában $a*b$, azaz szorzás
 - $1*1=1, 1*-1=-1, -1*1=-1, -1*-1=1$
 - STEP 2. Végezzük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

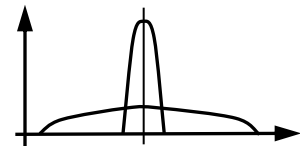
Kódosztás



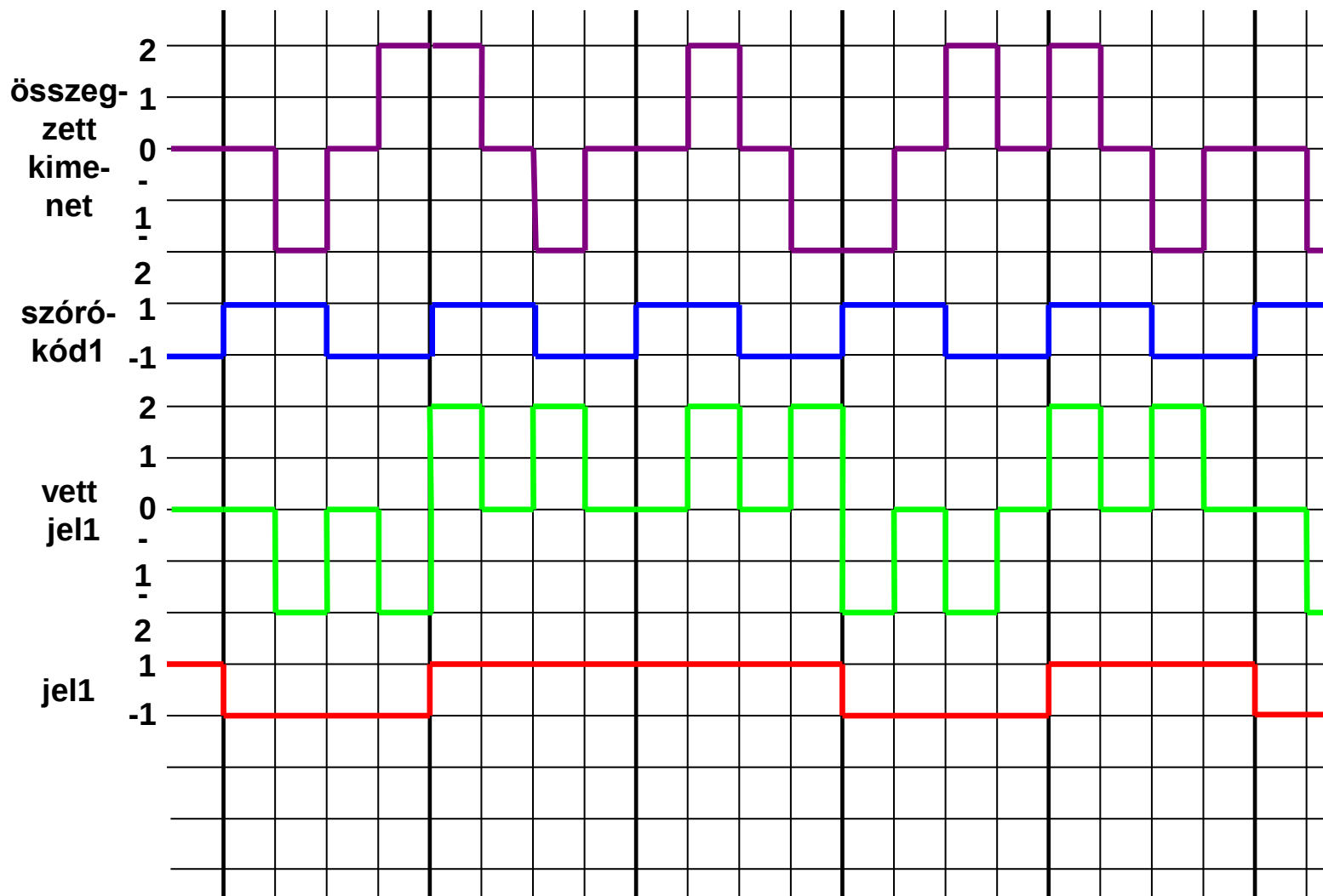
- A kódolás szemléltetése:



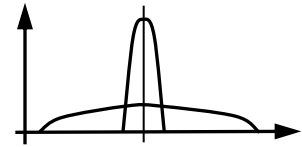
Kódosztás



- A dekódolás szemléltetése:



Kódosztás

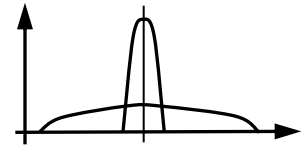


- Nézzünk egy számpéldát!
 - Vigyük át az $(1, 0)$ és az $(1, 1)$ jeleket az $(1, 1, 0, 0)$, ill. $(1, 0, 0, 1)$ szóró kódokat használva
- Kódolás:
 - STEP 1. Az átvíendő jel legyen
 - A: $(1, -1)$
 - B: $(1, 1)$
 - STEP 1. A két szóró kód legyen
 - A: $(1, 1, -1, -1)$
 - B: $(1, -1, -1, 1)$
 - STEP 2. Az elküldendő jelek:
 - A: $1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1$
 - B: $1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1$
 - STEP 3. Ezek összege:
 - $2, 0, -2, 0, 0, -2, 0, 2$
- Dekódolás
 - STEP 1. A szorzat:
 - A: $2, 0, 2, 0, 0, -2, 0, -2$
 - B: $2, 0, 2, 0, 0, 2, 0, 2$
 - STEP 2. Az átlagok:
 - A: $1, -1$
 - B: $1, 1$
 - STEP 3. A vett jel:
 - A: $1, 0$
 - B: $1, 1$
- Megj: mindez azért sikerülhetett, mert a szóró kódok valóban ortogonálisak, azaz a kettő szorzatának az átlaga nulla:
 - A szorzat: $1, -1, 1, -1$
 - Az átlag: 0

Csatornázási kód

- Miért működik mindez ortogonális kódok esetén?
- Legyenek:
 - n : a kiterjesztési faktor
 - a szóró kódok $\underline{C}_1, \underline{C}_2, \dots, \underline{C}_n$
 - ezek mindegyike egy n hosszú vektor (n db n hosszú szóró kód van, ld. nemsokára)
 - az egy adott bitidőben elküldendő bitek az egyes csatornákról $B_1, B_2, \dots, B_n$
 - 1-gyel vagy -1-gyel kódolva
 - $\underline{a} \cdot \underline{b}$: a vektorok skaláris szorzata ($\underline{a} \cdot \underline{b} = a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n$)
 - $x\underline{y}$: vektor skalárral beszorozva ($x\underline{y} = xy_1, xy_2, \dots, xy_n$)
- Ekkor a kiküldött jel egy bitidőben:
 - $\underline{J} = B_1\underline{C}_1 + B_2\underline{C}_2 + \dots + B_n\underline{C}_n$
- A dekódolt jel az adott bitidőben pl. az első vevőnél:
 - $D_1 = (\underline{J} \cdot \underline{C}_1)/n = (B_1\underline{C}_1 + B_2\underline{C}_2 + \dots + B_n\underline{C}_n) \cdot \underline{C}_1 / n = (B_1\underline{C}_1\underline{C}_1 + B_2\underline{C}_2\underline{C}_1 + \dots + B_n\underline{C}_n\underline{C}_1) / n = nB_1/n = B_1$
 - kihasználtuk az ortogonalitást ($\underline{C}_i\underline{C}_j = 0$, ha $i \neq j$) ill., hogy az n hosszú 1 és -1-ekből álló $\underline{C}_1$ vektor önmagával való skalár szorzata n

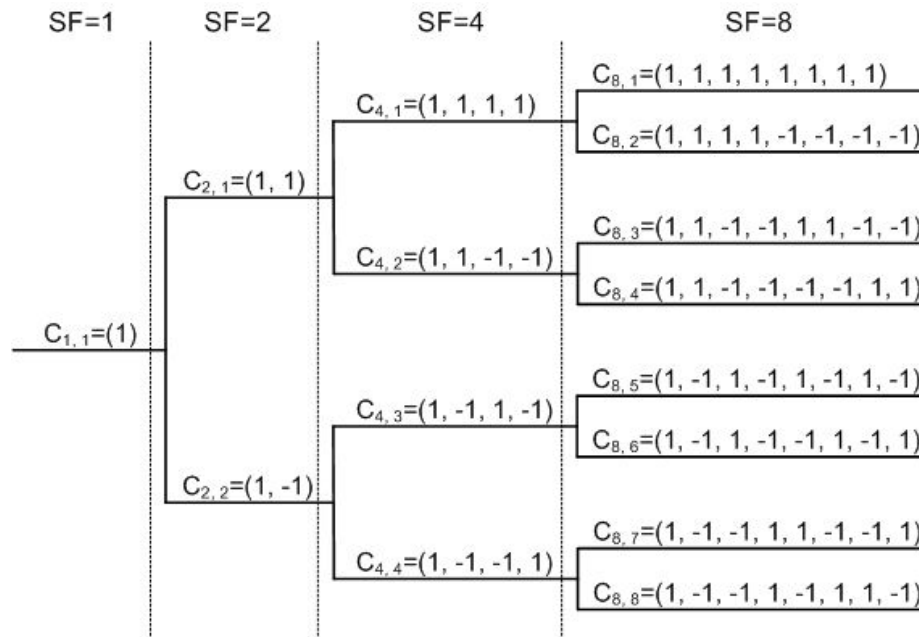
Csatornázási kód



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

Csatornázási kód

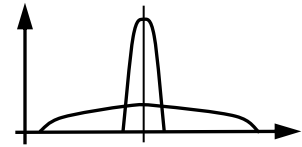
- OVSF kód generálása



■ Vagyis:

- $C_{2x,2y-1}=(C_{x,y}, C_{x,y})$ és $C_{2x,2y}=(C_{x,y}, -C_{x,y})$
- Látszik, hogy 2^n hosszú kódból 2^n darab van
- Könnyen bizonyítható az ortogonalitás is (teljes indukció)
 - Bizonyítandó: $\underline{C}_{i,a} \underline{C}_{i,b}=0$, ha $a \neq b$
 - $i=2$ -re igaz: $1*1+1*(-1)=0$
 - $\underline{C}_{i,a} \underline{C}_{i,b} = (\underline{C}_{i-1,x} \pm \underline{C}_{i-1,y}) \cdot (\underline{C}_{i-1,x} \pm \underline{C}_{i-1,y}) = \underline{C}_{i-1,x} \cdot \underline{C}_{i-1,y} \pm \underline{C}_{i-1,x} \cdot \underline{C}_{i-1,y} = 0 \pm 0 = 0$

Csatornázási kód



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

Csatornázási kód

- Példa: beszédátvitel esetén 128-szoros a kiterjesztési faktor (spreading factor, SF)

Data rate (After channel coding)	SF	Chip rate
9 60 kbit/s	4	3.84 Mcps
4 80 kbit/s	8	3.84 Mcps
2 40 kbit/s	16	3.84 Mcps
1 20 kbit/s	32	3.84 Mcps
60 kbit/s	64	3.84 Mcps
30 kbit/s	128	3.84 Mcps
15 kbit/s	256	3.84 Mcps
7 .5 kbit/s	512	3.84 Mcps

FDD Example:

A Call requires a 12.2 kbit/s voice channel. With special channel coding it will increase up to 30 kbit/s.

Looking into the table will indicate to use SF=128 (C_{128}).

Keverő kódolás

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

Keverő kódolás

- Az $\text{NOT}(\text{XOR}(a,b))$ szorzás itt bitenként történik: egy bit a kódolandó jelfolyamból, egy bit a kódból
 - azaz nem történik sávkiterjesztés, a bemenet és a kimenet ugyanannyi bitből (amit itt már chipnek nevezünk) áll
- A kódszavak hossza:
- Lefele: 38 400 bit (10 msec-enként ismétlődik)
- Felfele: 38 400 bit, vagy 256 bit. Ez utóbbi, ha a Node B speciális vevővel rendelkezik (ún. rake vevő)

Összefoglalás

	csatornázási kód	keverőkód
cél	forráson belüli adatfolyamok elkülönítése	források elkülönítése
kódhossz	4..256 chip (feléle), 4..512 chip (lefele)	38400 vagy 256 chip (fel), 38400 chip (le)
kiterjesztés	van, növeli az adási sáv szélességet	nincs
ortogonalitás	tökéletes	nem tökéletes
szinkronizáció	szükséges	nem szükséges

UMTS teljesítményszabályozás



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

UMTS cellalégzés

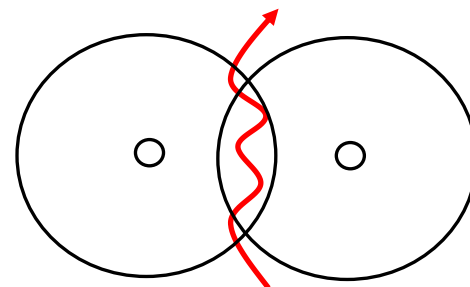


- Több felhasználó egy cellában
- → nagyobb „háttérzaj”
 - hisz nem tökéletesen ortogonálisak a keverő kódok
- → kisebb cella használható csak effektíven
 - a távol lévő állomások kirekesztődnek
- ⇒ a cella mérete változik a forgalomtól függően
 - a cella „lélegzik”
- megnehezíti a cellatervezést

Hívásátadás áramkörkapcsolt esetben



- GSM: „kemény hívásátadás” (hard handover)
 - egyik pillanatban egyik bázisállomással kommunikál a mobil állomás, kisvártatva a másikkal
 - az átadás olyan gyors, amilyen gyors csak lehet
 - cellaváltás hiszterézissel: egy cellahatáron kószáló mobil esetében se legyen sok felesleges átadás
 - lehet persze az is, hogy a végberendezés egyenesen halad, de a cellák határa girbegurba

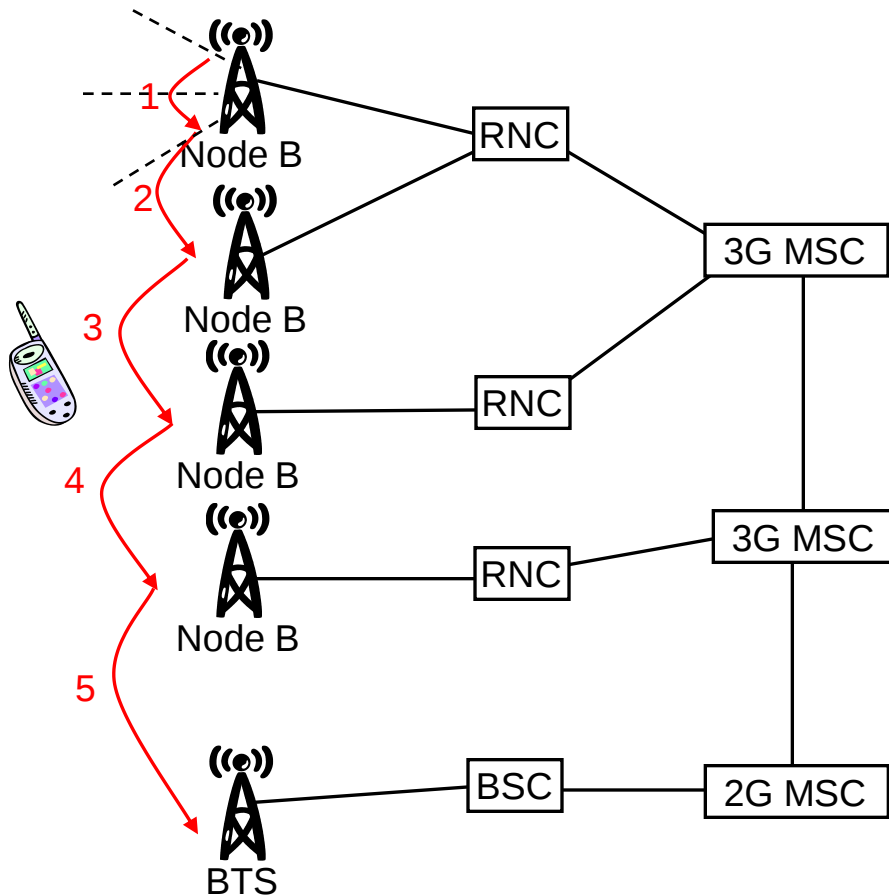


UMTS puha átadás



- UMTS: puha átadás (soft handover)
 - egyszerre több bázisállomással tart fenn kapcsolatot
 - max. 3-mal egy időben
 - a le irányú adatot minden bázisállomás sugározza (ugyanazt), a mobil így többször is megkapja
 - az egyik adótól érkezett és esetlegesen elveszett információ így más forrásból pótolható
 - a fel irányú adatot minden bázisállomás veszi (ugyanazt)
 - a hálózat összerakja a különböző bázisok által vett adatot, így egy esetleges adatvesztés az egyik cellában könnyen korrigálható a többiben vett adatokkal
 - ez az állapot viszonylag sokáig is tarthat
- Azért is fontos a redundancia, mert épp a cella legszélén vagyunk, ilyenkor a legrosszabb a vétel
 - igaz, ez némi sávszélesség-pazarlással jár (redundáns adás lefele irányba)
- Mindezt a kódosztás teszi lehetővé:
 - azonos a frekvencia a szomszédos cellákban

UMTS átadási típusok



- 1. Node B-n belül, szektorok (cellák) között (intra-Node B)
 - 2. Inter-Node B, Intra-RNC
 - 3. Inter-RNC, Intra-MSC
 - 4. Inter-MSC
 - 5. 3G→2G
- (2G→3G nem olyan kritikus)
- puha vagy kemény
- csak kemény

Teljesítményszabályozás puha átadásnál



- A mobil eszköz a puha átadásban lévő Node B-ktől különböző parancsokat kaphat: teljesítmény csökkentése / szinten tartása / növelése
- Mit tegyünk, ha ezek ellentmondóak?
- Az alkalmazott szabály:
 - Ha bárki csökkentésre utasítja, csökkent
 - Amúgy, ha bárki szinten tartásra utasítja, szinten tart
 - Amúgy növel
- Az ötlet: minimális teljesítménnyel adni, hogy ne tegyük egy cellában sem tönkre a kommunikációt.
 - Viszont a fenti algoritmusból következik, hogy legalább egy cellában a teljesítmény elégséges lesz.

UMTS összefoglaló

- Jobb beszédminőség
- Gyorsabb internetelérés
- CDMA
- Újabb verzióiban: all-IP core network: megszűnik az áramkörkapcsolt gerinchálózat
- A fejlődés itt nem állt meg: HSPA, HSPA+, LTE...

HSPA, HSPA+



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