



**MOBILE COMMUNICATIONS AND  
QUANTUM TECHNOLOGIES LAB.**

## **Mérési útmutató az Újgenerációs hálózatok szakirány Labor 1 méréseihez**

### **CDMA rendszerek alapjai**

**Mérés helye:**

Hálózati rendszerek és Szolgáltatások Tanszék  
Mobil Kommunikáció és Kvantumtechnológiák  
Laboratórium  
I.B.113.

**Összeállította:**

Tóth Gábor PhD hallgató  
Dr. Jeney Gábor, Tudományos főmunkatárs  
Dr. Imre Sándor, Egyetemi tanár

**Frissítette:**

Jakó Zoltán, PhD hallgató

**Utolsó módosítás:**

2013. szeptember 02.

## 1. Bevezetés

A harmadik generációs mobil rendszerek rádiós interfészének alapja a CDMA (Code Division Multiple Access) technológia. Ezért fontos, hogy a jelenleg mobil hírközléssel foglalkozók megismerjék a rendszer főbb elemeit és azok működését. Ezen mérés célja, hogy a szórt spektrumú rendszerekről elviekben elsajátított ismereteket szimulációs környezetben megvizsgáljuk ezzel könnyebbé téve a működési elv megértését.

## 2. A mérésekről általában

A mérések eszköze a számítógép. Semmi más nem szükséges a mérések elvégzéséhez (nem kell papír, se írószerszám, se vonalzó se számológép). A mérést a System View szimulációs programmal végezzük, a jegyzőkönyv készítéséhez pedig a Libre office aktuális verzióját kell használni, mely utóbbinak felhasználói szintű ismeretét feltételezzük minden egyes hallgatóról. A számítógépbe való **bejelentkezéshez** használja a **mcl / mcl** felhasználónév és jelszó párost. Bejelentkezést követően indítsa el a System View programot, valamint a labor oldaláról nyissa meg a mérési útmutatót (vagy akár az otthon kinyomtatott példányát is használhatja). A méréshez használható jegyzőkönyv sablont is a labor weboldalán találja. A méréshez a Mobil Kommunikáció és Kvantumtechnológiák Laboratórium hallgatói számítógépeit kell használni, melyek a laborba bejáratánál elhelyezkedő asztalon lévő fekete színű számítógépeket jelölik. A gépeken Windows 7™ operációs rendszer fut.

## 3. Elméleti összefoglaló

### *A szórt spektrumú átvitel alapelve*

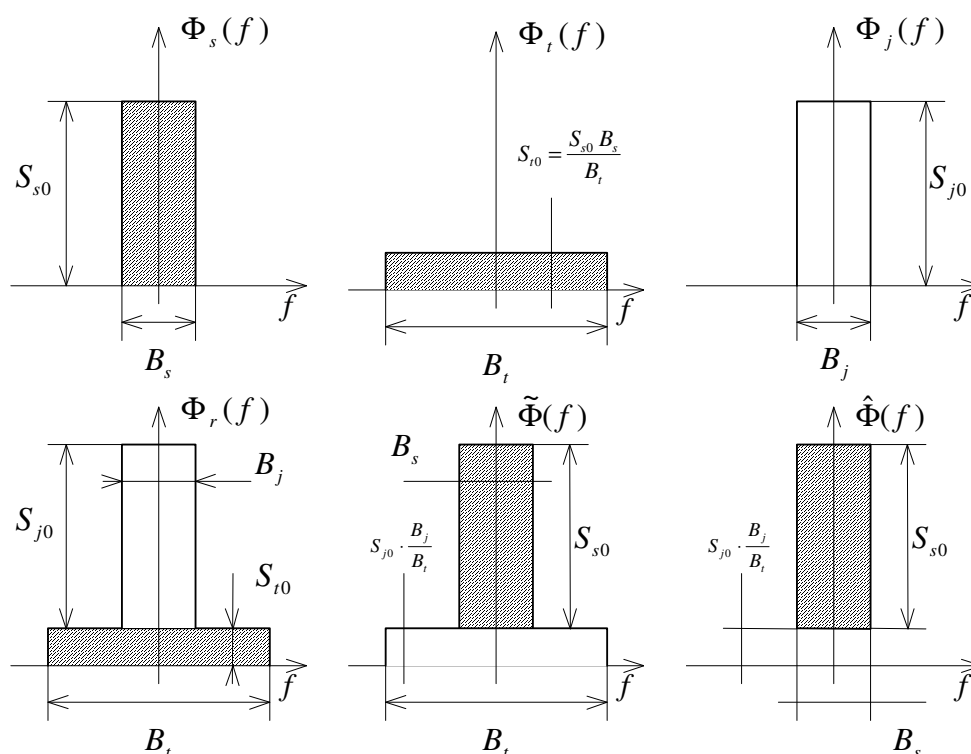
Akkor nevezünk egy átviteli rendszert szórt spektrumúnak, ha a következő kritériumoknak eleget tesz:

1. Ha a szórt spektrumú jel sávszélessége  $W$ , az átviendő információt hordozó jelé  $B$ , akkor  $W \gg B$ , vagyis a Nyquist-sávszélességnél jóval nagyobb sávszélességű modulált jel.
2. A sáv kiterjesztéséhez egy külön spektrum-kiterjesztő jelet használnak,
3. úgy, hogy a létrejövő jel zajszerű legyen.
4. A spektrum kiterjesztése olyan művelettel történik, amely kétszer végrehajtva semlegesíti önmagát (szorzás  $\pm 1$ -gyel, frekvencia transzponálás stb.)

A rádiós csatorna zavaró hatásai közül a legjelentősebb, a frekvencia-szelektív fading keskeny sávban jelentkezik. Ha a csatornán egy olyan jelet akarunk átvinni, amelynek a sávszélessége a zavaró hatás sávszélességével összemérhető, akkor előfordulhat, hogy az átvitel során a hasznos jel olyan mértékben károsodik, hogy már nem lehet detektálni. A szórt spektrumú átvitelt ennek elkerülésére dolgozták ki, hiszen egy keskeny sávú fading egy széles sávban sugározott jelet csak részlegesen károsíthat.

## Szórt spektrumú rendszerek működése

Az eredetileg keskeny sávú jelünk sáv szélességét egy alkalmas transzformáció végrehajtásával megnöveljük, és ezt az immár széles sávú jelet visszük át. Így a jelet ért keskeny sávú zavarok rontják ugyan a detektálhatóságot, de nem teszik lehetetlenné. A transzformációt, amivel a jelünket a frekvenciatartományban „szétkenjük” célszerű szimmetrikusra választani, ami azt jelenti, hogy a transzformáció ön inverz művelet legyen. Ebben az esetben ugyanis azon kívül, hogy az inverz transzformációt egyszerűbb lesz végrehajtani, egyéb kedvező jelenségek is fellépnek, amint azt a következő ábra alapján is végigkövethetünk.



1. ábra A spektrum-kiterjesztés működése

$$\frac{P_{jel}}{P_{zavar}} = \frac{S_{s0} B_s}{S_{j0} \frac{B_j}{B_t} B_s} = \frac{S_{s0} B_s}{S_{j0} B_j} \underbrace{\frac{B_t}{B_s}}_{\text{Processing gain}} \stackrel{B_j=B_s}{=} \frac{S_{s0} B_t}{S_{j0} B_s}$$

(eredeti)

A kódoló bemenetére érkező  $\Phi_s(f)$  jel  $B_s$  sáv szélességű és  $S_{s0}$  teljesítmény-sűrűségű. Ezt a jelet a szorozzuk a kóddal, melynek hatására a kódolóból kijövő  $\Phi_t(f)$  jel sáv szélessége  $B_t$  lesz, teljesítmény sűrűsége pedig lecsökken oly mértékben, hogy a fentebb említett kritériumot teljesítse, miszerint a jel teljesítményének állandónak kell lennie. Ezt a jelet sugározzuk ki az antennán. Ehhez a jelhez az átviteli csatornán hozzáadódik a  $\Phi_j(f)$  keskenysávú zavaró jel, melynek sáv szélessége  $B_j$ , teljesítmény sűrűsége pedig  $S_{j0}$ . A vevő bemenetére a két jel összege kerül ( $\Phi_r(f) = \Phi_s(f) + \Phi_j(f)$ ). A dekódoló a vett jelet a  $c(t)$  kóddal szorozza. Mivel a hasznos jelből származó komponensen már másodszor végezzük el a transzformációt, így visszakapjuk az eredeti jel spektrumát, aminek hatására a hasznos jel sáv szélessége  $B_s$ -re csökken,

visszatranszformálódik az alapsávba. A sokkal nagyobb teljesítmény-sűrűségű zavaró jelen viszont csak először hajtjuk végre a transzformációt, így annak spektrumát szétkenjük, mint az előbb a hasznos jelet, ezért sáv szélessége  $B_t$ -re nő, teljesítmény-sűrűsége pedig lecsökken  $B_t/B_f$ -ed részére. A szűrő a zavaró jelből levágja a hasznos sávon kívüli tartományt. Ezzel a zavaró jel energiája  $B_t/B_f$ -ed részére csökken. Ezt az arányt nevezzük a szórt spektrumú rendszer *jelfeldolgozási nyereségének* (*processing gain*) és PG-vel jelöljük.

Más szavakkal, ez az eredmény azt mutatja, hogy a spektrum kiterjesztése következtében a jel-zaj viszony éppen

$$PG = \frac{B_t}{B_s}$$

mértékben javul ahhoz az esethez viszonyítva, ha a zavaró jel közvetlenül okozna interferenciát a csatornában. Ebből az a tanulság is levonható, hogy minél inkább kiterjesztjük a spektrumot, annál jobban csökkenthető a keskenysávú zavaró jel hatása.

A szélessávú rendszerben egy keskeny sáv kiesése csak kis jel-zaj viszony romlást eredményez. A fading csak egyes részsávokban van jelen, ezek viszont függetlenek egymástól. A módszer ugyanakkor nem jelent védeltséget a végtelen teljesítményű Gauss zaj ellen, ezért szűrőkre mindenképpen szükség van a kommunikációban.

Az, hogy az átvitel nagyon kis teljesítmény-szinten történik, lehetővé teszi, hogy egy csatornában egyszerre több felhasználó forgalmazzon, illetve pont-pont közötti átvitel esetén, más típusú rendszerekkel történő együttműködés is lehetséges ugyanabban a sávban.

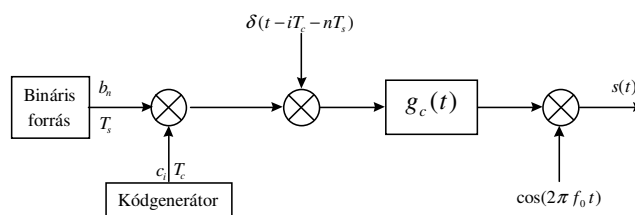
### ***Spektrumkiterjesztő eljárások***

A frekvencia ugratásnál (Frequency Hopping, FH) a vivőfrekvenciát változtatják bizonyos időközönként, tehát a hasznos jelsorozat energiáját más-más frekvencián viszik át. Attól függően, hogy az ugratás milyen gyorsan történik megkülönböztethető gyors (Fast FH, FFH) és lassú (Slow FH, SFH) frekvencia ugratás. Akkor gyors az ugratás, ha az átviendő hasznos jel szimbólumidejéhez képest gyorsabban változik a frekvencia, míg lassú, ha a frekvenciaugrások periódusa a szimbólumidőnél nagyobb.

A közvetlen sorozat (Direct Sequence, DS) esetén a hasznos jelet közvetlenül a spektrum kiterjesztő kóddal szorozzuk meg és azt egy állandó frekvenciájú vivőn sugározzuk ki.

### ***Direkt szekvenciális rendszerek***

A rendszer vizsgálatához tekintsünk egy bináris átviteli rendszert, ahol az adóknak kétféle üzenete lehetséges, ezek az 1 és a -1, a kódsorozat pedig +1 és -1-ekből álló sorozat (BPSK moduláció)! Ez esetben az adó felépítése az alábbi:



**2. ábra** DS-SS adó felépítése

A bináris forrás  $T_s$  időközönként állít elő egy szimbólumot (+1, vagy -1). Ez alatt az idő alatt a kódgenerátor egy  $N$  hosszúságú,  $T_s$  ciklikusan ismétlődő impulzus sorozatot állít elő, ez lesz az adóra jellemző kód. Ezt a kódot minden pillanatban összeszorozzuk a forrás által generált adatbitekkel. Így kapjuk a ténylegesen átvinni kívánt impulzus sorozatot. Ennek a sorozatnak minden chipjét egy ún. elemi jellel visszük át, ez a  $g_c(t)$ . Az elemi jel előállítását egy  $g_c(t)$  súlyfüggvényű szűrő segítségével végezzük. Az átvendő impulzussorozatból  $T_c$  időnként mintát veszünk, és ezekkel a Dirac-impulzusokkal vezéreljük a szűrő bemenetét. A chippek közötti áthallás elkerülése érdekében a szűrőnek véges impulzusválaszúnak kell lennie, egész pontosan az elemi jelnek a  $[0, T_c)$  intervallumra kell korlátozódnia. Az egyszerűség kedvéért továbbiakban négyszög impulzus alakú elemi jelet fogunk feltételezni, azaz:

$$g_c(t) = \begin{cases} 1 & \text{ha } 0 < t < T_c \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$$

Így a modulátorra kerülő jel egy négyszög impulzus sorozat lesz. Ezekkel a feltételezésekkel az adó kimenetén létrejövő jel az alábbi módon írható le:

$$\begin{aligned} s(t) &= \sqrt{2P} \cos(2\pi f_0 t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} d_n \sum_{i=0}^{N-1} c_i g_c(t - nT_s - iT_c) = \\ &= \sqrt{2P} \cos(2\pi f_0 t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} d_n g(t - nT_s) \end{aligned}$$

ahol

$$g(t) = \sum_{i=0}^{N-1} c_i g_c(t - iT_c)$$

és  $g_c(t)$  az ún. chip elemi jel. Valamint

$P$  a jel teljesítménye

$f_0$  a vivőfrekvencia

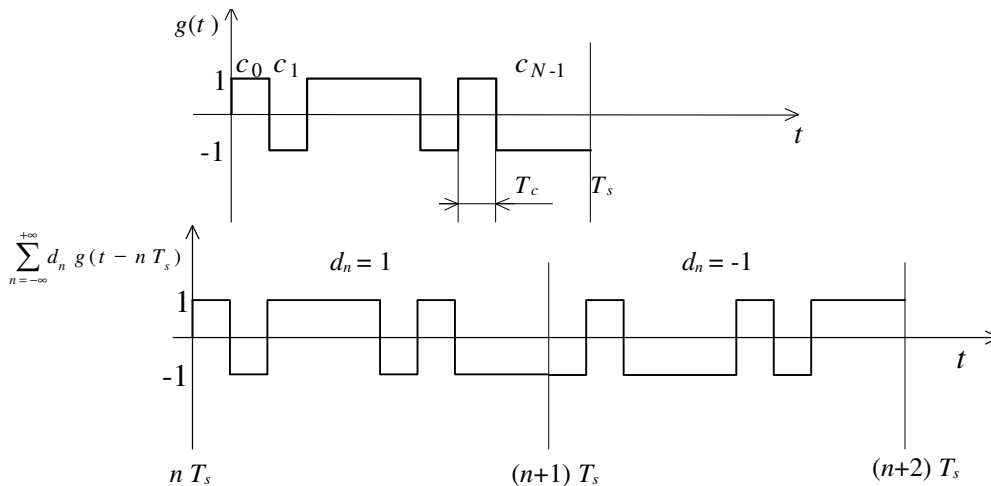
$d_n$  a szimbólum az  $n$ -dik időpillanatban

$c_i$  a kód értéke az  $i$ -dik időpillanatban

$T_s$  a szimbólumidő

$T_c$  a chipidő, és  $T_s = N \cdot T_c$ .

Az adó működését szemlélteti a következő ábra.



**3.ábra DS-CDMA jel**

Az egyes adók jelei a csatornában összeadódnak. A DS-CDMA adó jelének visszaállítására illesztett szűrős vevőberendezést alkalmazunk, ami a vett jelet szinkronhelyesen megszorozza a venni kívánt felhasználó kódjával és egy bitidőnyi intervallumon kiintegálja. A mérés során a dekóder megvalósítása egy kis csalással történik, az azonos álvéletlen kódsorozat érdekében az adóban keletkező jelet vezetjük át a vevőbe is, hogy végrehajthassuk a kóddal való visszaszorozást. Ezzel biztosítjuk a szinkronizálást is a kódok között.

### *Kódválasztás*

A kódsorozatokot úgy kell kiválasztani, hogy minél kisebb legyen a korreláció az egyes felhasználók kódjai között, mert ettől függ az interferencia, azaz a rendszer zaj nagysága. Ha nagy a keresztkorreláció a kódok között, akkor kevesebb előfizető képes kiszolgálni a rendszer. Léteznek valódi ortogonális kódok, melyeknél az ortogonalitás azt jelenti, hogy nincs keresztkorreláció a különböző kódok között. Ilyenek például a Hadamard-Walsh kódok, (melyeket az IS-95 második generációs CDMA rendszer használ), de ezek a kódok nem biztosítják az egyenletesen szétterített spektrumot amely a szórt spektrumú rendszer alapkövetelménye. A másik kódtípus, melynél nem teljesül a tökéletes ortogonalitás, az álvéletlen (pseudo random) kódcsaládok. Ezek, azzal, hogy álvéletlenek biztosítják az elkent, zajszerű spektrumot. Igen jó keresztkorrelációs tulajdonsággal rendelkeznek. Ezen kódokat visszacsatolt shift-regiszterek segítségével lehet generálni, különböző algoritmusok szerint. Ilyen a mérésen használt Gold kód is. A shift-regiszterek száma ( $n$ ) és a kód hossza ( $N$ ) között a következő összefüggés áll fenn:

$$N = 2^n - 1$$

Az IS-95 (egy korai CDMA rendszer) rendszerben downlink irányban a Hadamard-Walsh kódokat a csatorna azonosítására használták. Ehhez adják hozzá a felhasználó kódját, majd az egyenletes spektrum elérése érdekében egy álvéletlen kódsorozattal is megszorozzák a kimenő jelet. Uplink irányban, mivel a különböző adók nincsenek szinkronban egymással, ezért a Hadamard-Walsh kódot inkább a nagyobb átviteli biztonság elérése érdekében használják úgy, hogy mobil által küldött biteket hatosával összefogják és ehhez rendelnek egy-egy Hadamard-Walsh kódot. (Ez 64 kódot jelent, ennyi csatorna van a rendszerben downlink irányban. Így ugyanazokat a kódokat két dologra használják.) Ehhez adják a saját kódot, majd az álvéletlen kódsorozatot.

#### 4. Ellenőrző kérdések

- Mikor nevezhetünk egy átviteli rendszert szórt spektrumúnak? (sorolja fel a kritériumokat!)
- Hogyan szemléltetné a frekvenciasávban a szórt spektrumú rendszerek működését? Mi történik a keskeny sávú zavaró jellel?
- Mi az a Processing Gain? Hogyan rövidítjük?
- Mi az a PG? Minek a rövidítése? Hogyan számolná ki, ha ismert az alapsávi jel, és a csatornán lévő jel sáv szélessége?
- Milyen CDMA rendszereket ismer?
- Mi a különbség a gyors és lassú frekvenciaugratásos rendszer között?
- Mit jelent a DS-CDMA rendszer? Hogyan működik? Adjon blokkvázlatos, illetve matematikai leírást!
- Rajzolja fel, mi jelenik meg a csatornán egy DS-CDMA kommunikációs csatornában, ha az elemi chip jel négyszög impulzus alakú. Mi történik, ha pl. emelt koszinuszú jelet használnánk helyette?

#### 5. Mérési feladatok

A mérésből jegyzőkönyv készítendő, melynek tartalmaznia kell az egyes feladatokat megvalósító kapcsolást és a kérdésekre adott választ, valamint értékelést és esetleges összehasonlítást. A jegyzőkönyv formája elektronikus, a **H:\jegyz5.doc** fájl kitöltését jelenti a mérés ideje alatt lehetőleg interaktívan. *Figyelem! A másolást díjazzuk!* Sajnos eggyessel.

##### 1. feladat

Állítson elő 2 db 100 bites álvéletlen kód generátort a SystemView PN generátorának segítségével! Ellenőrizze a két kód ortogonalitását, számítsa ki a két kód közötti korrelációt szinkronizált esetben! Ismételje meg a kísérleteket. Mi volt a legrosszabb érték amit kapott?

##### 2. feladat

Az előző feladatban megépített kódgenerátorokból és két álvéletlen jelgenerátorból hozzon létre két DS-CDMA adót! Vizsgálja meg az eredeti és a kiterjesztett jel spektrumát!

Építsen vevőt mindkét adóhoz, és ideális csatornát és tökéletes szinkronizációt feltételezve vizsgálja az átvitelt (az adó kódgenerátorát használhatja a vevőben)!

### **3. feladat**

A csatornát változtassa AWGN-re (additív gauss zajos)! Figyelje meg hogyan változik a vételi oldalon a bithiba-arány ideális szinkron esetén! Egészítse ki a kapcsolást úgy, hogy bithiba-arány vs.  $E_b/N_0$  görbéket generáljon a System View. Használja a negyedik mérésben megismert „system loop”-okat!

### **4. feladat**

Építsen gyors és lassú frekvencia ugratásos adót és vizsgálja meg mindkettő spektrumát! Van-e különbség a sávszélesség szempontjából? Ön melyiket részesítené előnyben? Miért?

## **6. Ajánlott irodalom**

[1] Pap László: *A mobil hírközlés alapjai* (előadás jegyzet), 1998, pp. 145-159.

[2] J. G. Proakis: *Digital communications*, McGraw-Hill, 1995, pp. 695-753.