

Nagy Dániel

nagy.daniel@operculum.hu

SZÓRT SPEKTRUMÚ ADATÁTVITEL, A WIFI ÉS A WIMAX MEGVALÓSÍTÁSÁBAN

Absztrakt

A katonai kommunikációban mindig kritikus kérdés annak lehallgathatósága. A modern szórt spektrumú rádiózás azonban gyakorlatilag lehetetlenné teszi a forgalmazások lehallgatását. A hangsúly a zavarásra helyeződik, azaz olyan módon és mértékben kell zavarjelet sugározni a vevőberendezés felé, hogy ott a vett információ ne lehessen értelmezhető. A WiMax az utóbbi időben előtérbe került katonai felhasználás tekintetében is, részben kiváló zavarállósága miatt.

Eavesdropping plays a crucial part in military communication. However, the modern spread spectrum radio systems make communication virtually un-eavesdroppable, jamming of these radio communications became the priority. The jammer has to apply the adequate signal with high enough power to render the received information uninterpretable. Nowadays WiMax came into the spotlight due to its superior jamming-proof characteristics.

Kulcsszavak: szórt spektrum, wimax, wifi, zavarás ~ spread spectrum, wimax, wifi, interference

BEVEZETÉS

A vezeték nélküli távközlés és azon belül a rádióhullámú adatátvitel egyik legfontosabb paramétere a sávszélesség. A sávszélesség szó különbözően értelmezhető és értelmezendő elektronikai és informatikai területen. Előbbi esetében sávszélesség alatt két határfrekvencia különbségét értjük, és így azt Hz-ben határozhatjuk meg. Ugyanakkor informatikában a sávszélesség kifejezést gyakorta használják az időegység alatt átvitt adatmennyiség jellemzésére is, amelyet tipikusan bit/s-ban szokás kifejezni. Ez utóbbit célszerűbb csatornakapacitásnak nevezni. Jelen írásban ezen meghatározásoknak különös jelentősége van, hiszen a vezeték nélküli adatátvitel tárgyalásában mindkettő alapvető jelentőségű tényező.

A csatornakapacitás jelentősége könnyen belátható, hiszen általánosságban igaz, hogy időegység alatt minél több adatot szeretnénk átvinni. A csatorna azonban soha nem ideális, hanem – egyebek mellett – zajos, így az értékes jel egyfajta versenyhelyzetbe kerül a csatorna zajjal. Katonai alkalmazásban a kérdés azért különösen fontos, mert az átviteli csatornát a szemben álló fél szándékosan zavarhatja, és a zavarás a kommunikációs összeköttetés teljes használhatatlanságához vezethet.

A WiMax-ról, mint „új”¹ vezeték nélküli kommunikációs rendszerről sokat olvashatunk katonai vonatkozásban. Ennek oka számos előnye között a kiemelkedő zavartűrő képessége. A hadseregben a zavartűrés azt is jelenti, hogy a kommunikáció mennyire képes ellenállni a szándékos zavarásnak. A mai - nem csak katonai célú - adatátviteli módszerek a lehallgathatóságot azonban gyakorlatilag lehetetlenné tették, így a zavarás válik az elsődleges céllá. Ebben a tekintetben is nagy előnyt a szórt spektrumú² technikák megvalósítása.

Jelen írás röviden bemutatja a szórt spektrumú adásmód alapjait, tárgyalja annak legfontosabb tulajdonságait, majd a 802.11 ill. 802.16m szabványokon keresztül két konkrét megvalósításába ad betekintést.

SZÓRT SPEKTRUM

Adott sávszélesség és adott jelzaj-viszony esetén a csatornakapacitás a Shannon–Hartley képlet alapján számolható[1]:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

C - csatornakapacitás bit/másodpercben;

B - sávszélesség Hz-ben;

S - átlagos jelteljesítmény a vételi oldalon B által meghatározott sávban;

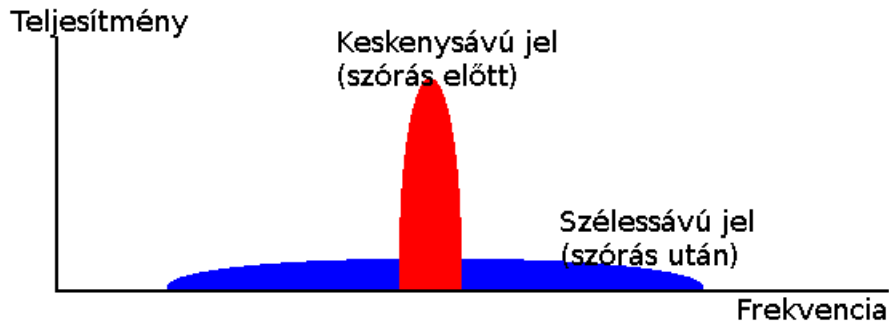
N - átlagos zajteljesítmény a vételi oldalon B által meghatározott sávban.

A fenti képlet csak akkor alkalmazható, ha a zaj fehér zaj, azaz minden frekvencián azonos mértékű, valamint a vételi oldalon igaz, hogy a vett teljesítmény értéke S+N alakban írható le. Ha hagyományos keskeny sávú átvitelre gondolunk (FM, AM) a gyakorlatban természetes, hogy a jelnek nagyobb amplitúdóval kell jelen lennie, mint a zajnak, hiszen máshogyan nem tudjuk a demoduláció során visszaállítani az elküldött jelsorozatot. A Shannon–Hartley képletet most elfogadva az látható, hogy adott csatornakapacitást igen alacsony jelzaj-viszony mellett is megtarthatunk, sőt a képlet szempontjából semmilyen különleges helyzetet nem

¹ A szabvány 2001-ben került kihirdetésre

² Az angol spread spectrum „elterített” spektrumot jelent

eredményez, ha az értékes jel teljesítménye jóval a zaj teljesítménye alatt van. Kis S/N érték esetén B-t kell növelnünk is így ismét megfelelő C-hez jutunk. Tehát „mindössze” az alapsávi jel frekvenciáját kell valamilyen módon kiterjeszteni, megnövelni, azaz a bevett terminológia szerint: spektrumát szórni. A mindössze szó azért került idézőjelek közé, mert ennek a műveletnek bár a belátása egyszerű, műszaki megvalósítása már nem ennyire.



1. ábra. Pirossal látható a szórás előtt, kékkel a szórás utáni spektrum.[2]

A spektrum kiterjesztése vagy szórása zaj hozzáadásával történik, amelynek sávszélessége lényegesen nagyobb, mint az információt tartalmazó alapsávi jel sávszélessége. Ezzel a művelettel az 1. ábrán látható módon változik az átvendő jel spektrumának képe. Sokkal nagyobb sávszélességet fed le, mint eredetileg, és ezzel egyidejűleg spektrális összetevőinek amplitúdója csökken. A szóban forgó zaj valójában nem fehérzaj, hanem egy bináris pseudo-random jelsorozat. A pseudo-random azt jelenti, hogy valójában egy ciklikusan ismétlődő kódról van szó, amelyet valamilyen módon az adónak és a vevőnek egyaránt ismernie kell. Az adónak azért, hogy a szórt spektrumú jelet előállíthassa a segítségével, a vevőnek pedig természetesen azért, hogy a vett jelből vissza tudja állítani az eredeti információt. A modern rendszerekben ezek a PR³ kódok bináris szekvenciák, amelyeknek gyakorlati felhasználhatóságuk érdekében néhány követelményt teljesíteniük kell. Nem lehetnek bármilyen jelsorozatok, de ezek jellemzésére most nem térek ki. A dekódoláshoz nem elegendő a PR kódszekvencia ismerete, a vevőnek azt olyan szinkronban kell tudnia alkalmazni a vett jelen, ahogyan az adáskor is történt. A szinkron megteremtése egy sarkalatos pontja a szórt spektrumú adástechnikáknak, de ezzel ebben az írásban, részleteiben nem foglalkozom.

A PR kód hozzárendelését alapvetően három ponton tudjuk elvégezni, ahogyan azt a 2. ábra mutatja. Az első esetben magát a forrásadatot módosítjuk (DSSS⁴). A második esetben az RF⁵ vivőfrekvenciát (FHSS⁶), a harmadikban pedig az antennaerősítő fokozat működésmódját moduláljuk (THSS⁷). Alább kifejtésre kerül a három alapeset.[3]

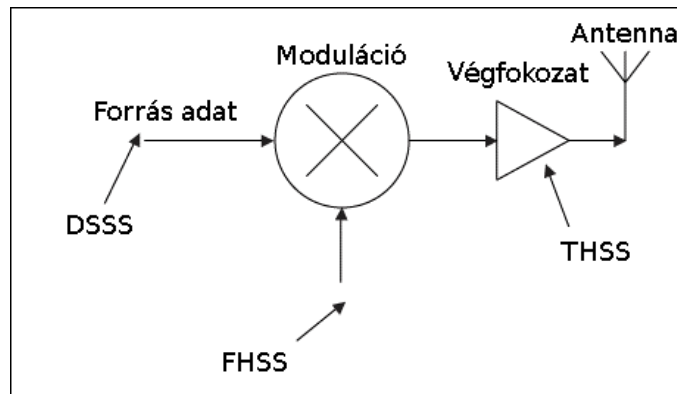
³ A pseudo-random a továbbiakban PR-ként kerül rövidítésre

⁴ DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum - Közvetlen Sorozatú Szórt Spektrum

⁵ RF a rádiófrekvenciás átvitelhez szükséges moduláció

⁶ FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum - Frekvenciaugratásos Szórt Spektrum

⁷ THSS - Time Hopping Spread Spectrum - Időugrásos Szórt Spektrum

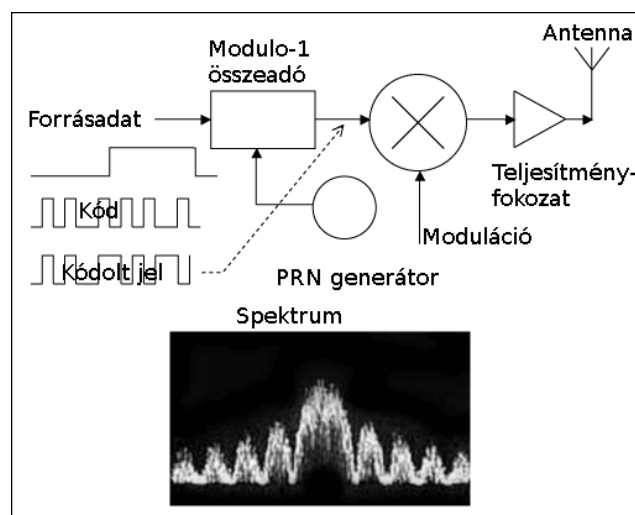


2. ábra. Sematikus ábra az adórendszer felépítéséről és a szórt spektrum elméleti lehetséges előállítására.[2]

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

A közvetlen sorozatú frekvenciaszórás arra utal, hogy a forrásadat és a PR kódot összeszorozva hozzuk létre a szélesebb sávú jelet. Ez a szorzás valójában modulo 1 összeadásnak felel meg, vagyis egy kizáró vagy műveletet kell végrehajtani. Az RF modulátor ilyenformán egy sokkal nagyobb frekvenciájú zajszerű jelet kap a bemenetére, amelynek frekvenciája a PR kód frekvenciájával lesz egyenlő. Az ilyen módon létrejövő jel $((\sin x)/x)^2$ alakú, amelynek sávközepe a vivőfrekvenciáéval esik egybe. A 3. ábrán látható spektrum változik a modulációs eljárás függvényében. Az ábrán látható esetben BPSK-t⁸ használtak. A spektrum középső fő alakja a modulációs frekvencia kétszerese.

Ennél a szórt spektrumú eljárásnál beszélhetünk rövid- illetve hosszú kódolásról. Ez arra utal, hogy az alapjelhez mérten a PR kód milyen hosszúságú. Rövid kódolású rendszernél a PR kód minden újabb továbbítandó bit esetében ismétlődik. Hosszú kódolás esetében a PR kód átível több adatbiten. Természetesen a hosszú kódolás sok tekintetből jobb (kevésbé lehallgatható, jobb a zavarállósága), de előállítás és nem utolsósorban a vételi oldalon való szinkronizáció komplikáltabb megvalósítást igényel.



3. ábra Felül: A DSSS sematikus ábrája. Alul: Egy valóságos DSSS adásmódú spektrum, moduláció után.[1]

⁸ BPSK - Binary Phase Shift Keying - bináris fázisbillentyűzés

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum

A frekvenciaugratásos rendszerekben is PR kódot alkalmaznak, azonban nem az alapsávi jelet szorozzák, hanem a modulátor vivőfrekvenciáját módosítják segítségével. Ilyenformán az átvitelre kerülő jel különböző időpontokban különböző frekvenciákon kerül átvitelre. Bár a PR kód szempontjából ilyen formán bármilyen széles sáv lefedhető lenne, a rádió frekvenciás átvitel adta korlátok miatt (antenna, egyéb frekvencia-függő elemek) ez nem igaz. Az ilyen módon létrejövő sáv szélesség is véges természetesen, formáját a 4. ábra mutatja.



4. ábra. Egy FHSS jel spektrum képe.[2]

Azt, hogy egy adott frekvencián mennyi ideig marad az adás, a tartási idő⁹ határozza meg amely a PR kód frekvenciájának a reciproka. Az FHSS tehát az elérhető sáv szélességet N részre osztja és ezen N frekvencián ugrál a kód által meghatározott szekvencia szerint.

Az átviteli sáv szélességet a legalacsonyabb és a legmagasabb vivőfrekvencia, illetve a moduláló RF jel sáv szélessége határozza meg. Egy elemi sáv egy keskeny-sávú jel, azonban mivel a DSSS jel sáv szélességét az alkalmazott moduláció meghatározza, illetve korlátozza, összességében a FHSS – a fentebb említett RF korlátokat továbbra is szem előtt tartva – szélesebb sávot foghat át, mint a DSSS jel.

Ahogy a DSSS esetében beszélhettünk hosszú illetve rövid kódolásról, úgy az FHSS esetében beszélhetünk gyors, illetve lassú ugratásról. Lassú ugratás esetében egy vagy akár több elemi bit is átvitelre kerül ugyanazon a frekvencián, míg gyors ugratás esetében egy bit átvitele alatt több frekvenciaugrás történik. A hangsúly tehát ezen definíció szerint a forrásadat frekvenciája és az ugratás frekvenciájának viszonya között van, nem pedig két különböző rendszer ugratási frekvenciájának viszonyáról beszélünk.

THSS - Time Hopping Spread Spectrum

Az időugrásos szórt spektrum kissé különböző a fenti logikától. Valójában az RF modulált jelet modulálják egy négyszögjellel az antenna meghajtó fokozatnál, amelynek periódusait a PR kód határozza meg. Ennek a megoldásnak a lényege, hogy az adó viszonylag erős és rövid energiainpulzusokat bocsát ki, a PR kód által meghatározott időpillanatokban, amely időpillanatok csak a vevő számára ismertek. Ebben az esetben a PR kód frekvenciája mindenképpen az alapsávi bitráta fölé kell essen, hiszen ellenkező esetben egyes adatbitek olyan időtartományba eshetnek, amelyben nem történik adás. Előbbi kijelentést némiképpen árnyalja, hogy e rendszer egyes megvalósításaiban memóriákat használnak épp e kérdés kezelésére. Önmagában ritkán használatos technika, inkább más szórt spektrumú megoldásokkal együtt alkalmazzák.[4]

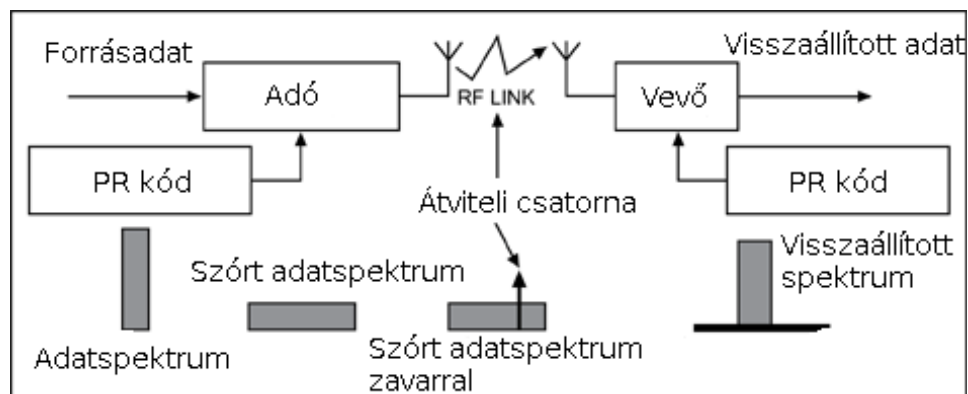
⁹ angolul: „dwell time”

Összefoglalva tehát elmondható, hogy a szórt spektrumú adásmódhoz minden esetben szükség van egy pszeudo-random kódsorozatra, amely ismert az adó és a vevő számára egyaránt. A vevő a kód és valamilyen szinkronizálás elvégzésével vissza tudja állítani az elküldött információt.

A SZÓRT SPEKTRUMÚ ADÁSMÓDOK FŐBB TULAJDONSÁGAI

Amennyiben a szórt spektrumú adás teljesítménye megegyezik egy hasonló keskenysávú rádióéval, akkor elmondható, hogy előbbi alacsonyabb teljesítményt ad egy adott frekvenciaegységre értelmezve (W/Hz). A jelteljesítmény szétterül a spektrumban és a PR kód miatt zajszerű lesz. Az eredeti alapsáv és a szórt spektrum sáv szélessége közötti viszonyt nyereségnek¹⁰ nevezzük, tipikus értékei 10 dB és 60 dB közé tehető. A nyereséget így úgy kell értelmezni, hogy az átvitel során folytonos küzdelem zajlik a zajjal. A Shannon-Hartley képlet alapján minél nagyobb a sáv szélességünk, annál rosszabb jel-zaj viszonyt is átvészélünk, így a forrásadat minél szélesebb kiterjesztése a spektrumban a végső csatornkapacitás szempontjából nyereségként fogható fel.[3]

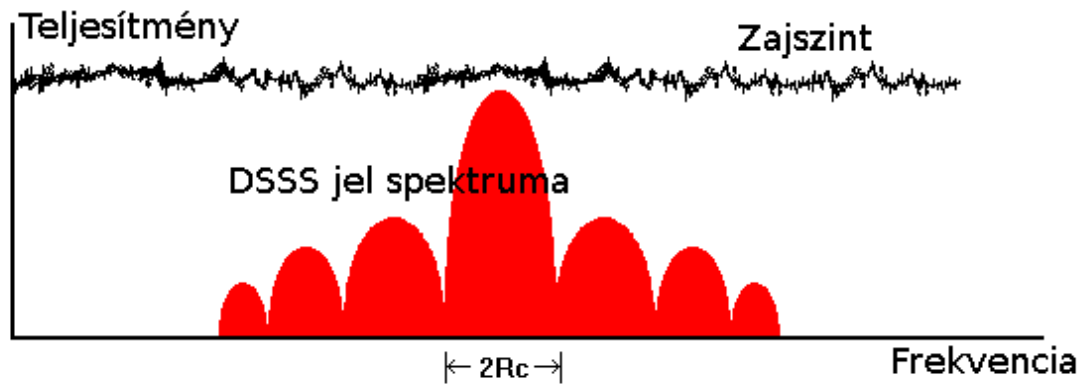
A keskeny sávú zavar-impulzus az 5. ábrán látható módon a folyamat eredményeként a vevő oldalon a nyereséggel arányos módon csökken. Az ilyen zavar keletkezhet interferenciából, más felhasználók forgalmazásából vagy akár nagy teljesítményű szándékos zavarásból is. Egy szórt spektrumú adást a klasszikus zavarási módszerekkel csak igen nagy teljesítményű és sáv szélességű zavarjellel lenne lehetséges, amely olyan paraméterekhez vezet, hogy a valóságban a hagyományos zavarási módszerek nem alkalmazhatók sikeresen.



5. ábra. A szórt spektrum a csatornára kerülő zajt szétteríti, így a vételi oldalon lényegesen jobb lesz a jel-zaj viszony.[1]

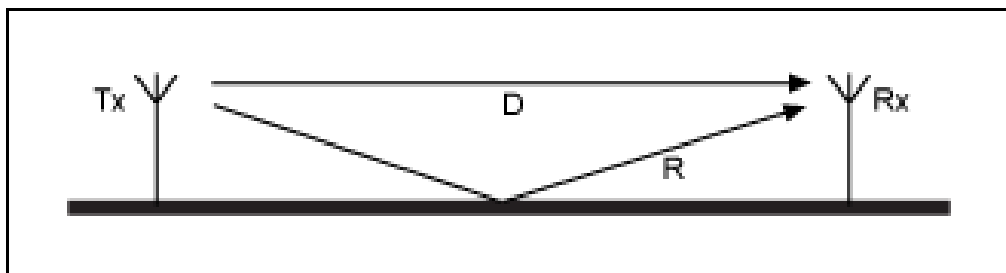
További előnyt jelent, hogy a kódszekvencia ismerete nélkül a jel lehallgatása lehetetlen. A távközlés zajként jelentkezik a jogosulatlan vevőnél, sőt adott esetben olyan zaj, amely a rádió zaj alatti szinten van. A rádióadás teljesítménye a spektrumban látható görbe alatti terület. Bár az amplitúdók alacsonyak (akár zajszint alattiak 6. ábra), mivel a szórt spektrum következtében lényegesen szélesebb tartományt ölel át, mint az alapsáv, teljesítménye az alapsávval megegyező. Ez a jellemző a DSSS adásmódnak a legnagyobb erőssége.

¹⁰ angol terminológia szerint „process gain”



6. ábra. Az átvitelre kerülő spektrum akár a zajszint alatti amplitúdójú is lehet. [2]

A rádiójel átvitele során visszaverődik felületekről, atmoszféráról vagy a földről. Ez azt jelenti, hogy a vételi oldalra nem csak az eredeti jel, hanem a késéssel ezek a reflektált jelek is megérkeznek. A vételi oldalon ez a hatás az interferencia jelenség miatt gyengülő jelként¹¹ jelentkeznek. Szórt spektrum esetében azonban ez nem történik meg. Igaz, hogy a visszaverődött jelek is ugyanazzal a kulcs-szekvenciával rendelkeznek, mint a valódi jel, azonban a fázisuk késik. A sikeres vételhez helyes kódszekvencia és megfelelő szinkron szükséges, és mivel a vevő a valódi jelre van rászinkronizálva, a reflexiókból adódó tartalmat figyelmen kívül hagyja. Ez a tulajdonság különösen lényeges városi környezetben, ahol a jel számos tereptárgyról visszaverődve jut el az adótól a vevőig.



7. ábra. Többutas terjedéskor a rádiójel által megtett D ill. R úthossz különböző. Ez interferenciához vezet a vételi oldalon.[2]

Ahogy az fentebb említettem, a zavarok a nyereséggel arányosan csökkentett módon fejtik ki hatásukat a vételi oldalon. Ez azt jelenti, hogy teljesen el nem tűnnek. Digitális adatátvitelnél, ahol ezek a zavarok elvesztett biteket jelenthetnek indokolt FEC¹² eljárások alkalmazása. Az 1. táblázatban tájékoztató jelleggel a három tárgyalt szórt spektrum jellemzői olvashatók.

A fentebb említett pozitív tulajdonságok miatt a szórt spektrumú adásmód igen elterjedt a civil szférában (Bluetooth, WLAN, GPS, stb) és a katonai adatátvitel alkalmazásokban egyaránt.

¹¹ Az angol terminológia ezt a jelenséget „fading”-nek nevezi

¹² FEC Forward Error Correction - Előremutató hibajavítás

Szórás módszer	Előnyök	Hátrányok
DSSS	- egyszerű megvalósítás - nehéz lehallgatni - jól alkalmazható többszörös hozzáférésre	- problémás kód szinkronizáció - érzékeny a közel-távolság problémára - zavarható
FHSS	- kevésbé érzékeny a közel-távolság problémára - nehezen zavarható - kevésbé zavarja a többszörös hozzáférés interferencia	- FEC szükséges - a frekvencia szinkronizáció problémás
THSS	- hatékonyan használja ki a sávszélességet - egyszerűbb mint az FHSS	- bonyolult kód szinkronizáció - FEC szükséges

1. táblázat. A három szórt spektrumú adásmód főbb tulajdonságainak összehasonlítása.[5]

VALÓS ALKALMAZÁSOK

Előnyös tulajdonságai miatt a szórt spektrumú adásmód sok közismert kommunikációs eszközben megtalálható. Három alkalmazást fogok röviden bemutatni. A Bluetooth-t, a 802.11x által definiált Wi-Fi-t, illetve a 802.16m által definiált WiMax-ot. Mindegyik más átviteli módot használ. Itt szeretném megemlíteni, hogy terminológia szerint különbséget tehetünk többszörös-vivőjű¹³ és szórt spektrumú adásmódok között. Bár a lényeg abban az értelemben nem változik, hogy az átvitelre kerülő információt minél szélesebb frekvencia sávra osztjuk szét, a megvalósítás miatt célszerű a fogalmakat szétválasztani. Ennek szellemében a lentebb tárgyalása kerülő három megvalósításból az első kettőben valóban a fenti definíció szerinti szórt spektrumról beszélhetünk, de a harmadikat helyesebb többszörös-vivőjű rendszernek nevezni.

Bluetooth

A Bluetooth rövid hatótávú eszköz, amely elsősorban kézi készülékek vezeték nélküli összekötésére szolgál. Mivel a 2.4 GHz-es ISM sávban üzemel, ahol számos más eszköz is, csak szórt spektrumú technika kerülhet szóba a zavarmentes működés elérése érdekében. A Bluetooth a „klasszikus” frekvenciaugratásos technikát valósítja meg, időosztásos hozzáféréssel. A csatorna időben 625 µs-os szeletekre van felosztva. (8. ábra) Minden időszelvény egy következő frekvencián működik, ami azt jelenti, hogy másodpercenként tipikusan 1600 frekvenciaugrás történik. A Bluetooth egy teljes csomagot átvisz egy időszelvényben, így a frekvenciaugratást bemutató résznél írtaknak megfelelően lassú ugratásúnak nevezhető.

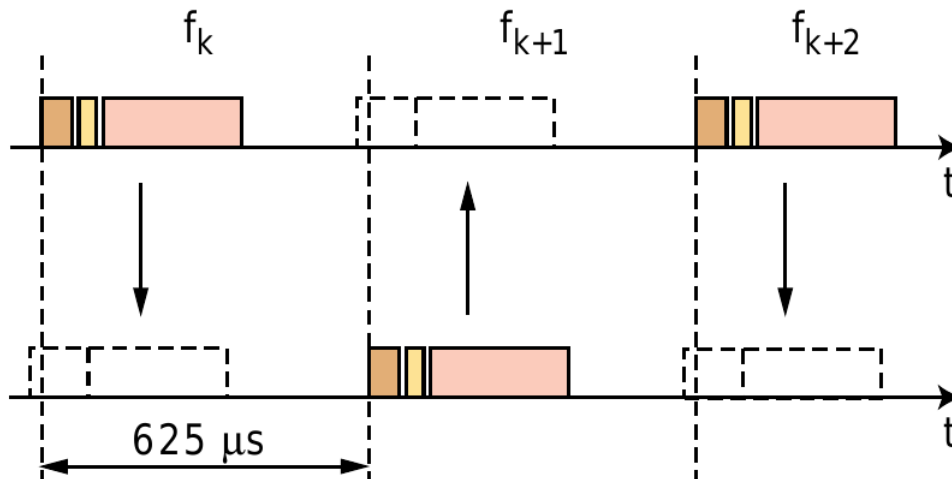
A Bluetooth master-slave típusú összeköttetésben működik, ahol egyszerre egy master és több slave eszköz lehet. A master határozza meg az ugratási szekvenciát, illetve az órajele kell, hogy meghatározza a megfelelő fázist, amihez a slave egységeknek szinkronizálniuk kell. A kódszekvencia ismétlődési ideje rendkívül hosszú, mintegy 23 óra. Minden piconetnek¹⁴ a saját master eszköze határozza meg az adásparamétereit, amelyek így elkülönülő csatornákká válnak. Maga a sáv egyenlő 1 MHz-es alsávokra van felosztva.

¹³ angol terminológiában „multi-carrier”

¹⁴ piconetnek hívják a Bluetooth eszközök által létrehozott legalább két, maximum nyolc eszközből álló hálózatot

Azokban az országokban, ahol a 2,4 GHz-es ISM sáv 80 MHz szélességű 79 alvivőt használnak, ahol ennél keskenyebb (Japán, Franciaország és Spanyolország) ott mindössze 23-at.[6]

Ez a csatornafelhasználás egyfelől garantálja a magas fokú zavarállóságot, illetve a nagyszámú különböző vivőnek (79) köszönhetően még néhány egymás hatósugarában lévő picinet esetében is alacsony az egymást zavarás matematikai valószínűsége. (Ne feledjük, hogy a kis hatósugár miatt az ilyen helyzet fizikai okokból sem valószínű.)



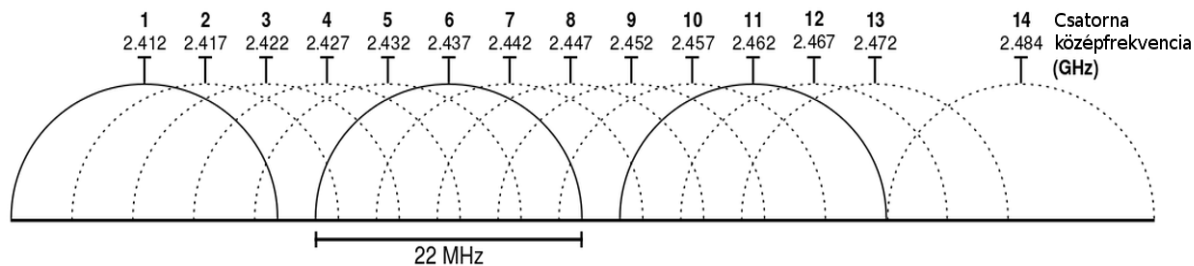
8. ábra. A Bluetooth 625 μ s-ig ad egy frekvencián, majd vált. A 625 μ s alatt egy Bluetooth adatcsomag átvitelre kerül.

Wi-Fi

A 802.11 szabvány több implementációt tartalmaz, DSSS és FHSS együttes lehetőségével csak az eredeti leírásban találkozunk. DSSS-et használ még a 802.11b és 802.11g implementáció, a többi elterjedt megvalósítás már inkább a lejjebb tárgyalt OFDM csatorna hozzáférést valósítja meg.

A 802.11 szabvány DSSS implementációja megfelel a fentebb leírt alapelveknek. 11 bites szekvenciával szorozza az átvitelre kerülő adatsorozatot. Az így létrejövő nyereség 10,4 dB, az alap 1 Mbps folyam így 11 Mbps folyamként kerül a 2,4 GHz-es ISM¹⁵ frekvenciájú modulátorba. A rendszer rendelkezésére álló sáv 2,4 GHz-től 2,4835 GHz-ig terjed, amely egymástól 5 MHz távolságra lévő 11 darab csatornára van felosztva. (Ebből következően maximálisan három nem átfedő csatorna képzelhető el: 1,6,11.) A modulált jel tehát valamelyik 5 MHz sáv szélességű csatornán kerül továbbításra. A szabvány szerint minden eszköz ugyanazt a kódot használja. Ez azt jelenti, hogy egy csatornán egy időben csak egy forgalmazás történhet, másként ütközés történik a forgalmazások zavarják egymást.

¹⁵ ISM Industrial Scientific Medical Ipari Tudományos Orvosi sáv esetünkben 2400-2500MHz közötti



9. ábra. A 802.11 által használt 22 MHz-es sávok átlapolódnak. Csak az 1,6,11 csatorna használható egyidejűleg átfedés nélkül.

Itt érdemes egy pillanatra a kódolás és a lehallgathatóság összefüggését röviden áttekinteni. Mint azt írtam minden 802.11 eszköz a szabvány szerint ugyanazt a szabvány által rögzített kódot használja, ami természetesen nem titkos. Mi értelme akkor az egésznek? Ne felejtjük el, hogy ebben az esetben a kód nem titkosítási célt szolgál, hanem a szórt spektrumú átviteltechnika egyéb kedvező tulajdonságainak kiaknázása végett használatos. Ha kódszekvencia nem lenne publikus, máris nem lenne olyan egyszerű a Wi-Fi adást lehallgatni, de itt nem ez a lényeg. A Wi-Fi gyakorlatában a titkosítást a hálózati átviteli rétegek magasabb szintjén végzik.

Visszatérve, a 802.11 esetében az időben egyszerre és egymás hatósugarában kommunikáló állomások zavarják egymást, eltekintve az említett 3 különálló sávtól. A gyakorlatban sok esetben találunk Wi-Fi eszközökkel alaposan ellátott helyeket, ahol ezek az eszközök a indokolatlanul magas adóteljesítmény miatt zavarják egymást. A zavar letörésszerűen csökkenő kapacitásban és akadózásokban mutatkozik meg. Ez előrevetíti olyan rendszer alkalmazásának szükségességét, ahol valóban több állomás használhatja ugyanazt a frekvenciát korlátok között értelmezve probléma nélkül. Az egyik eljárás a WiMax által is megvalósított SOFDMA.

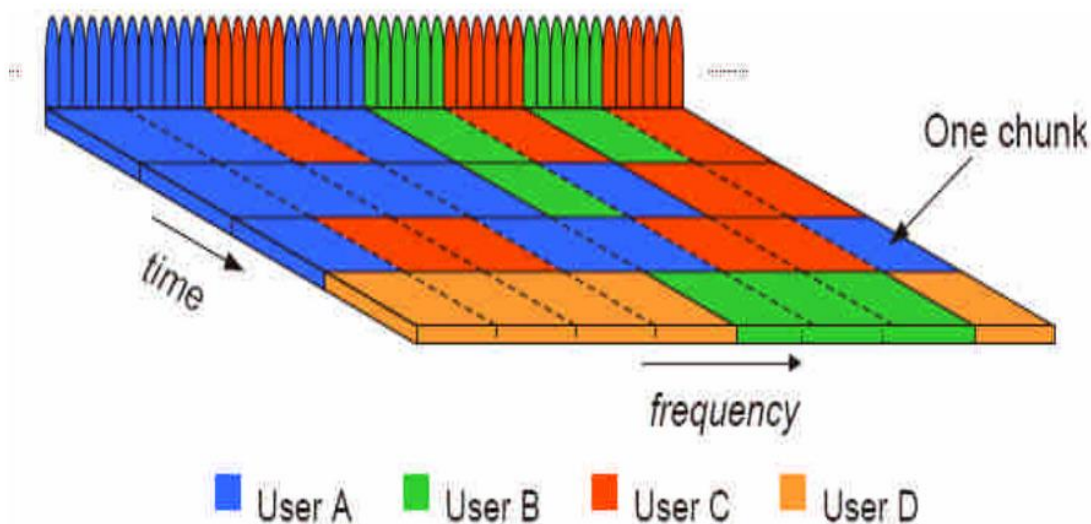
WiMax

A WiMax hasonló technológia a Wi-Fi-hez azonban nagyobb átviteli sebességet és nagyobb távolságok áthidalását teszi lehetővé. A különbség mégsem egy dimenziós, ahogyan ezt Sridhar[7] meg is jegyzi: Általános tévedés, hogy a WiMax nem más, mint egy felpumpált Wi-Fi. Ez a kérdés túlegyszerűsítése bizonyos üzleti és ismeretterjesztő anyagokban. A WiMax licencelt frekvencián működhet és más hálózati architektúrát használ, mint a Wi-Fi. A WiMax mindazonáltal ígéretes technika, amely sok esetben kiválthatja a Wi-Fi-t sőt akár cellaalapú eszközöket is.

Ahogy arról feljebb már írtam, a rádiójel terjedése folytán különböző felületekről visszaverődik, így a vételi oldalon a kisugárzott jel reflexiói is megjelenhetnek különböző késleltetésekkel. Ezek a visszaverődések és késleltetések frekvenciafüggőek. Amennyiben mozgó állomásokról beszélünk, a környezet változása miatt ezen reflexiók karakterisztikája és folyamatosan változni fog az időben. A WiMax egyik eredeti célja, hogy jól használható legyen városi környezetre jellemző gyakori zavarok közepette is (reflexiók, falak) így ezen tulajdonságokból adód fentebb bemutatott fading jelenség csökkentése a kulcs. [8]

Az OFDM¹⁶ rendszerek esetében arról van szó, hogy a rendelkezésre álló sávot felosztjuk valahány al-vivőfrekvenciára. Az adatátvitelre használatos vivőkön felül vannak még pilot-vivők, amelyek a csatorna tulajdonságait mérik fel, hogy a modulációt aztán ehhez lehessen igazítani, valamint sávhatárolók, amelyek az interferenciákat hivatottak csökkenteni. Az OFDM rendszer egyik jellemzője, hogy hány ilyen al-vivővel operál. Az OFDM rendszer az alapsávi jelet tehát ezekre az al-vivőkre szétszítva továbbítja. Ugyanazon adatátviteli sebesség esetében a szimbólum hosszúság nagyjából az OFDM csatornák számszorosa, azaz ha 1024 csatornánk van, akkor egy szimbólum 1024-szer hosszabb ideig tarthat, ami nagyon jótékony hatással van a reflexiók és fading jelenségek csökkentésében.

Amennyiben többszörös hozzáférésre van szükség, az OFDM moduláció csak az idődimenzióban képes ezt megvalósítani. Egy időszelvényben az egyik, a következőben egy másik állomás kommunikál, és így tovább. Ezen javít az OFDMA¹⁷ moduláció. Az alapötlet az, hogy a korábban említett al-vivőfrekvenciákat csoportokba, ú.n. csatornákká rendezzük, és egy ilyen, a teljes sávnál szűkebb csatornát bocsátunk egy állomás rendelkezésére. Ilyenformán a teljes sáv szélességet egy időben több állomás is használhatja, akár aszimmetrikus elosztással, továbbá az időosztásos hozzárendelés is megmarad, mint a többszörös hozzáférés kiszolgálásának dimenziója. Ezt használja a WiMax a fix telepítésű üzemmódjában.



10. ábra. Az OFDMA rendszerben a hozzáférések időben és frekvencián is osztottak.[9]

Kétféle módon állíthatunk össze az al-vivőkből csatornákat:

- elosztott al-vivő hozzárendeléssel;
- szomszédos al-vivő hozzárendeléssel.

Előbbi esetben a csatornák tetszőlegesen állíthatók össze a rendelkezésre álló al-csatornákból. Ez a jobb megoldás, amennyiben mobil állomásokról van szó és a fentebb

¹⁶ Orthogonal Frequency Division Multiplexing - ortogonális frekvenciaosztásos nyálábolás / multiplexelés

¹⁷ Orthogonal Frequency Division Multiple Access - ortogonális frekvenciaosztásos többszörös elérés

említett csatornaparaméterek gyorsan változhatnak. Utóbbi esetben egy csatorna csak egymás mellett elhelyezkedő al-vivőkből állhat össze. A fentivel ellentétben ez a megoldás kevésbé alkalmas gyorsan változó környezet igényeinek kielégítésére.

Az SOFDMA¹⁸ skálázható OFDMA-t jelent. A skálázhatóság nem más, mint az FFT¹⁹ méret és így a rendelkezésre álló al-vivők számának adaptív változtatása, a mindenkori átviteli paraméterek függvényében. Az al-vivők száma 128, 256, 512, 1024, 2048 lehet, de a szabvány csak a 512 és 1024 meglétét követeli meg. Mivel az al-vivők szeparációja változatlanul 11.1607 kHz, a teljes rendszer sávszélesség rendre 1.25, 5, 10, és 20 MHz-re adódik.

Az SOFDMA tulajdonságai[9]:

- az al-vivő szeparáció független a sávszélességtől;
- az al-vivők száma a sávszélességgel skálázódik;
- a sávszélesség legkisebb egységű felhasználása, ami az al-csatornák koncepcióját jelenti, fix és független a rendszer teljes sávszélességétől vagy a mindenkori működésmódtól;
- az al-csatornák száma a sávszélesség változásával skálázódik, és a minden al-csatorna kapacitása állandó marad.

A WiMax által is használt SOFDMA-ról elmondható, hogy bár széles sávú modulációs eljárás, és igaz az, hogy az alapsávhoz képest szélesebb sávban történik az átvitel, mégsem tekinthető abban az értelemben szórt spektrumú technikának, ahogyan arról ezen írás kezdetén beszéltünk, illetve ahogyan azt a Bluetooth vagy a 802.11 esetében láthattuk. Ott feltételként határoztuk meg a pseudo-random zajt, amely az OFDM esetében nincsen jelen.

ÖSSZEGZÉS

A keskenysávú rádiózással szemben a szórt spektrumú adásmódoknak tagadhatatlan előnyei vannak, nem csak a katonai alkalmazások számára, de a civil szférában egyaránt. Írásomban röviden ismertettem a szórt spektrumú adás alapeseteit és működési alapjait, majd kitekintésként ismertettem a Bluetooth, a 802.11 és a 802.16m szabvány által működő eszközök idevonatkozó tulajdonságait. Mindhárom kiterjesztett spektrumú adásmódot használ. A Bluetooth a „klasszikus” frekvenciaugratásos módot, ahol a vivőfrekvencia 625 µs-ként változik. A Wi-Fi egyes implementációi 11 átlapolódó DSSS kódolású csatornát használnak, ahol minden nem átlapolódó csatorna képes egy időben kiszolgálni egy állomást. A WiMax ún. többszörös vivőjű adásmódot használ, ahol a teljes sáv sok al-vivőből áll. Ezen al-vivők dinamikus módon csatornákká szervezhetők, így a többszörös elérést idő és frekvencia dimenzióban egyaránt megvalósítható, amely remek skálázhatóságot, többszörös hozzáférési lehetőséget és zavarállóságot kölcsönöz a rendszernek.

¹⁸ Scaleable Orthogonal Frequency Division Multiple Access - skálázható ortogonális frekvenciaosztásos többszörös elérés

¹⁹ FFT Fast Furier Transformation - Gyors Furier transzformáció

Felhasznált irodalom

- [1] Maxim Integrated: An Introduction to Spread-Spectrum Communications. *Maxim Integrated* [Online] <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/1890>
Letöltés ideje: 2014.05.10.
- [2] Anonymus: Spread Spectrum Scene. [Online] <http://www.sss-mag.com/ssttopics.html>
Letöltés ideje: 2014.05.16.
- [3] Sir. J. Meel: Spread Spectrum (SS). *Hogeschool Voor Wetenschap & Kunst* , (1999).
- [4] Tan F. Wong: Spread Spectrum & CDMA. , (1999).
- [5] Kharagpur: Spread Spectrum and Multiple Access Technique. *ECE IIT* , ().
- [6] Jaap Haartsen: BLUETOOTH—The universal radioad hoc, wireless connectivity. *Ericsson Review* , (1998).
- [7] T. Sridhar: Wi-Fi, Bluetooth and WiMAX. *The Internet Protocol Journal* [Online] http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_11-4/114_wifi.html
Letöltés ideje: 2014.05.12.
- [8] K. Fazel, S. Kaiser: Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems. 2. 1. *Germany, John Wiley & Sons, Ltd* (2008)
- [9] Vladimir Bykovnikov: The Advantages of SOFDMA for WiMAX. *Intel Corporation* (2005).