

Vezeték nélküli átvitelben használt modulációs eljárások

Előírt Laboratórium

Ekart Csaba [ZWPMKP]

2019.10.30.

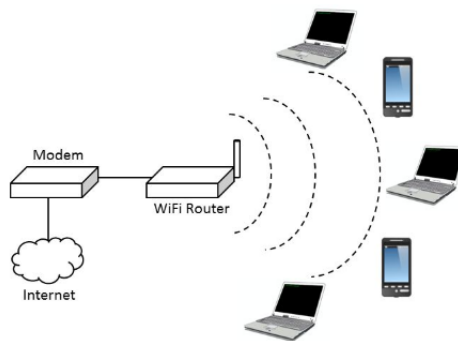
Bevezetés

Az önálló munkám során egy elméleti összefoglalót kellett készítenem a jelenleg használt Wi-Fi modemek által használt technológiákról, szabványokról, különös tekintettel a modulációs eljárásokra, és bemutatni, hogy hogyan tudják az erősen korlátozott sávszélesség mellett a nagy sebességű összeköttetést létrehozni, illetve fenntartani.

A LabView programomban egy általam választott modulációs eljárását próbálom prezentálni. A választásom a QPSK-ra esett. Bár ezt nem használják közvetlenül a mai Wi-Fi szabványoknak, bizonyos részeiben máig előfordul. A bonyolultabb modulációs eljárások, például az OFDM implementálása LabViewban számomra túl nehéznek bizonyult.

1. A Wi-Fi technológia alapjai (9) (10) (11) (12) (13)

A Wi-Fi az IEEE által kifejlesztett vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt megvalósító, széleskörűen alkalmazott 802.11 szabványcsalád népszerű neve. A technológia lehetővé teszi közeli számítógépek vezeték nélküli összekapcsolását, illetve az internet elérését, azaz WLAN létrehozását.



1. ábra. Wifi hálózat komponensei

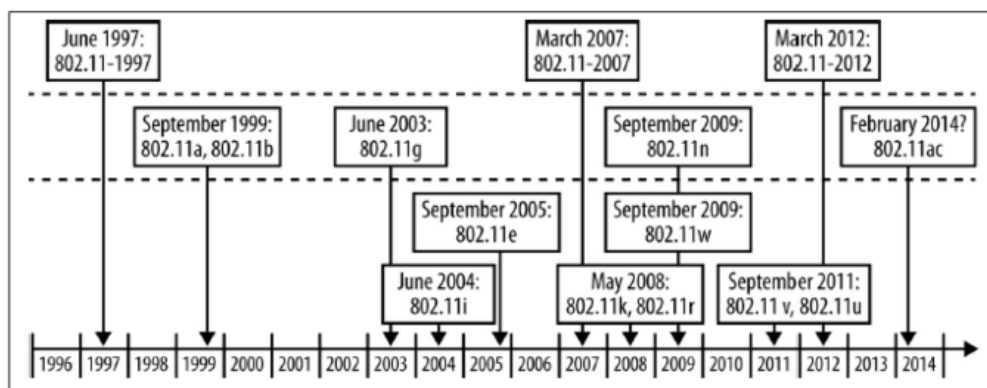
Egy általános Wi-Fi hálózat egy modemből, routerből, illetve az ahhoz kapcsolódó eszközökből áll. A modem (modulátor - demodulátor) tipikusan arra használt, hogy digitális adatokat küldjünk egy telefon hálózaton keresztül. A modem úgy modulálja az alapjelet, hogy az kompatibilis legyen a hálózattal, majd a fogadó oldalon demodulálja újra digitális adatokká. A modem közvetlen az internetet elérő hálózathoz kapcsolódik, illetve a routerbe. A router feladata, hogy létrehozzon egy privát hálózatot, illetve a modem és a végpontok közötti információ áramlást biztosítsa. A modem és router eszközöket manapság gyakran összevonva valósítják meg.

1.1. A 802.11 szabványcsalád (14) (2)

Az IEEE 802.11 egy vezeték nélküli adatátviteli protokoll. Az OSI modell két legalsó rétegét, a fizikai és az adatkapcsolati réteget definiálja. Az első szabvány verzió 1997-ben jelent meg, amelyet azóta folyamatosan fejleszt az IEEE. Különböző verziók paraméterbeli különbségei és megjelenési dátumai az alábbi táblázatban láthatóak.

IEEE szabvány	Megjelenés	Működési frek.	Max. seb	Hatótáv (belt.)	Hatótáv (kült.)
802.11	1997	2.4 GHz	2 Mbit/s	~20 méter	~100 méter
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbit/s	~35 méter	~120 méter
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbit/s	~38 méter	~140 méter
802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbit/s	~38 méter	~140 méter
802.11y	2008	3.7 GHz	54 Mbit/s	~50 méter	~5000 méter
802.11n	2009	2.4 GHz / 5 GHz	600 Mbit/s	~70 méter	~250 méter
802.11ac	2013	5 GHz	1300 Mbit/s	~140 méter	~350 méter
802.11ax	2018	2.4 GHz / 5 GHz	9600 Mbit/s		

A legtöbb szabvány működési elvében és felépítésében hasonló. Jelenleg az egyik legelterjedtebb a 802.11n. A legújabb 802.11ax támogatása még meglehetősen alacsony, de több modern eszköz, például a Samsung Galaxy Note 10, és az Apple iPhone 11 és 11 Pro is alkalmas a használatára.

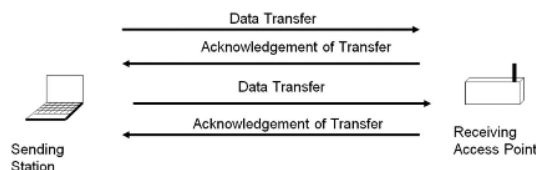


2. ábra. A szabványok megjelenése időrendben

Közös vonása a fenti szabványoknak, hogy CSMA/CA protokollt használnak.

1.2. CSMA/CA (2)

A CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces and Collision detection) protokoll az Ethernetnél használt szabvány, melynek lényege, hogy a csomag átadására készülő eszköz figyeli a közös csatornát. Ha a csatorna szabad, akkor elküldi a csomagot, azonban ha valami más adat utazik a hálózaton, ezt érzékeli és véletlen ideig vár, majd újra próbálkozik.



3. ábra. Egyszerű diagramon a CSMA működése

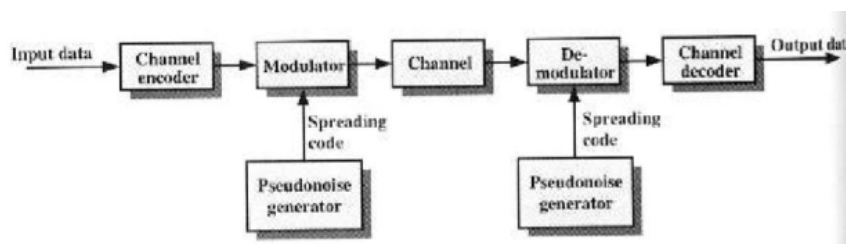
Ez a technológia sajnos nem alkalmazható Wi-Fi hálózatoknál, mert az eszközök nem érzékelik az ütközést. Ennek kiküszöbölésére szól a Collision Avoidance (CA) eljárás), melynek során az ütközés észlelése helyett inkább elkerüljük azt. Lényege, hogy az eszköz először kérvényt küld a routernek, hogy ő most információt akar küldeni, azonban csak akkor kezdi meg a tényleges küldést, ha a router visszajelez, hogy tudja fogadni. Mivel a router kezeli az összes kapcsolatot, így az ütközések elkerülhetőek.

1.3. Problémák, és módszerek elkerülésükre (13) (1) (20)

A Wi-Fi technológia használatakor több nehézséggel is szembe kell néznünk. Ezek egyike az erősen korlátozott sávszélesség, mely a 2.4 GHz-es frekvencián kifejezetten alacsony. Másik fontos nehézség az interferencia, illetve a fading jelenség. A különböző jelek terjedése a levegőben, a mozgó tárgyak és felületek mind problémát jelentenek, valamint a közelben lévő többi router is gondot okozhat.

Ezen felsorolt problémákra jelenthetnek megoldást az alábbi technikák.

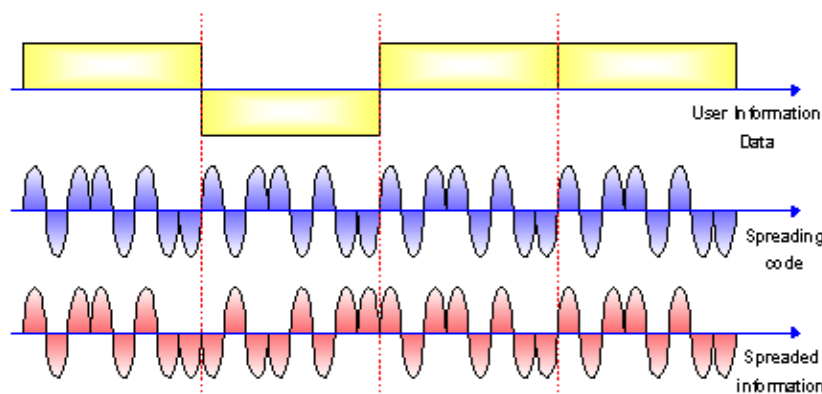
1.3.1. FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum



4. ábra. Az FHSS technika diagramja

Az FHSS technika lényege, hogy folyamatosan gyors időközönként váltogatjuk az éppen használt frekvencia csatornát egy véletlenszerűen meghatározott séma szerint, amit mind az adó, mind a vevő ismer. A frekvencia sáv váltakozása miatt kisebb az esélye az ütközésnek, és az információk sem keverednek össze a hálózaton.

1.3.2. DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum



5. ábra. DSSS működése

DSSS során előállítunk egy pszeudorandom jel sorozatot, egy az eredetnél jóval magasabb frekvencián. A kapott eredmény a fehér zajra emlékeztethet minket. Ezt a zaj jelet összeszorozzuk az adatjellel, amely a fogadó félén szintén ezzel a random jellel összeszorozva előállítja az eredeti adatunkat.

2. Modulációs eljárások

A Wi-Fi a korábban említett módon analóg rádiójelekkel közvetíti az információkat, ezért is használjuk a modulátor-demodulátor egységeket, melyek különféle modulációs eljárásokat használnak. Az általunk tanult módszerek a BPSK, és QPSK azonban nem alkalmas a Wi-Fi által megkövetelt magas sebességet tartani a korlátozott sávszélesség mellett. Az utóbbi években számos különböző komplex modulációs eljárás jelent meg, ami alkalmas lehet az általunk kívánt sebesség eléréséhez.

2.1. MOK - M-ary Orthogonal Keying (16) (17)

A MOK modulációs technikát már az 1960-as években bemutatták, azonban komplexitása miatt nem vált elterjedté. WLAN területen általában a MOK egy alverzióját a MBOK-ot (M-ary Bi-Orthogonal Keying) használjuk, mellyel lényegében ingyen tudunk egy bitet szállítani szimbólumonként. Előnye akkor mutatkozik meg, ha több sávon használjuk az IEEE 802.11 szabványnak megfelelően.

Mivel az in-phase (I) és quadrature (Q) csatornák függetlenek, ezért mindkettő modulálható a módszerrel. A Bi-ortogonális billentyűzés egy extra bitet ad minden egyes I és Q csatornához, mert használja az eredeti és az invertált verzióját is az eloszlás függvénynek. Mindennel együtt a MBOK-on alapuló rendszerek 8 bitet tudnak szállítani szimbólumonként.

2.2. CCK - Complementary Code Keying (18)

Habár az MBOK végül sosem vált szabvánnyá az IEEE 802.11b szabványban bemutatkozott a CCK modulációs technika, mely leváltotta a korábbi Barker-kódot, melynek maximum hossza mindössze 13 volt.

Egy komplementer kód egy pár véges hosszúságú bit sorozatot tartalmaz, úgy hogy az egyik a másik komplementere. A CCK több adatot tud szállítani mint a Barker-kód, mert jobban kihasználja a bit szekvenciákat.

A technikát elsősorban 802.11b-nél használtuk, azonban a manapság elterjedt OFDM mellett is használjuk, ha 802.11b-s sebességet akarunk használni.

2.3. PPM - Pulse-position Modulation

Ebben az esetben a pulzus-idő modulációról beszélünk, tehát az időbeli pozíció modulálásával szállítjuk az információt.

BPSK-val együtt használva 8 bites sebességet érhetünk el szimbólumonként.

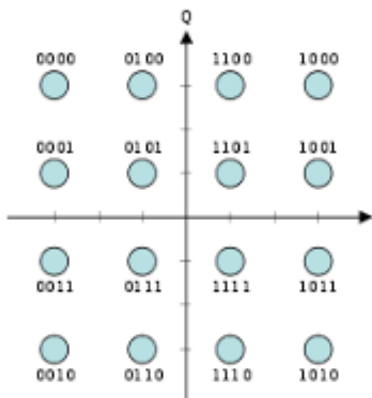
2.4. CCSK - Cycle-code Shift Keying

A CCSK a PPM egy speciális formája. Egyszerűbben demodulálható az MBOK-nál, azonban a szimbólumok nem teljesen ortogonálisak, csak részlegesen. Ez hatékonysági probléma, de könnyen orvosolható. Hogyha ciklusosan eltolt Barker szavakat használunk ugyanarra az eredményre jutunk mint a CCK esetén.

A CCSK különbsége a többi PPM fajtaival szemben az, hogy míg azok az egész szimbólumot modulálják, mi csak a korrelációs pulzust.

A probléma azonban itt is él: A PPM-hez hasonlóan érzékeny az interferenciára.

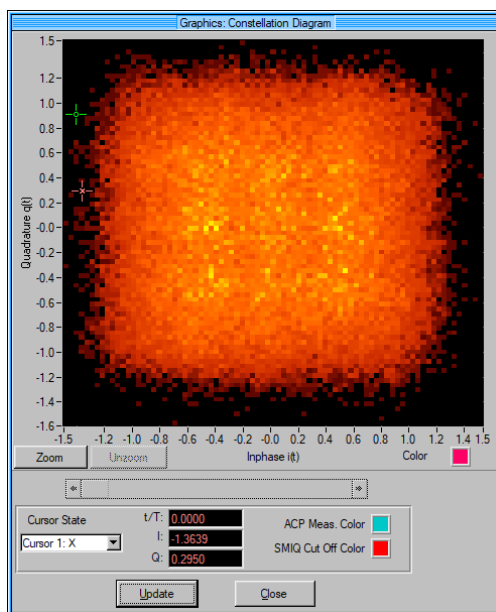
2.5. QAM - Quadrature Amplitude Modulation



6. ábra. Konstellaációs ábra

Kvadratúra modulációról akkor beszélünk, ha a két szállító komponenst külön jelekkel moduláljuk.

Sajnos a QAM, nem számít hatékony megoldásnak nagysebességű WLAN eszköz tervezésnél. Az órán látottak alapján következik is a probléma, melyet a méréseken láttunk is.



7. ábra. A WINIQSim laboron mért ápráng 16QAM esetén zaj és több utas terjedés estén

A mérésen láttuk, hogy nagyon érzékeny a zajra a QAM technika, és a többutas terjedés okozta interferenciára.

2.6. OCDM - Orthogonal Code Division Multiplexing

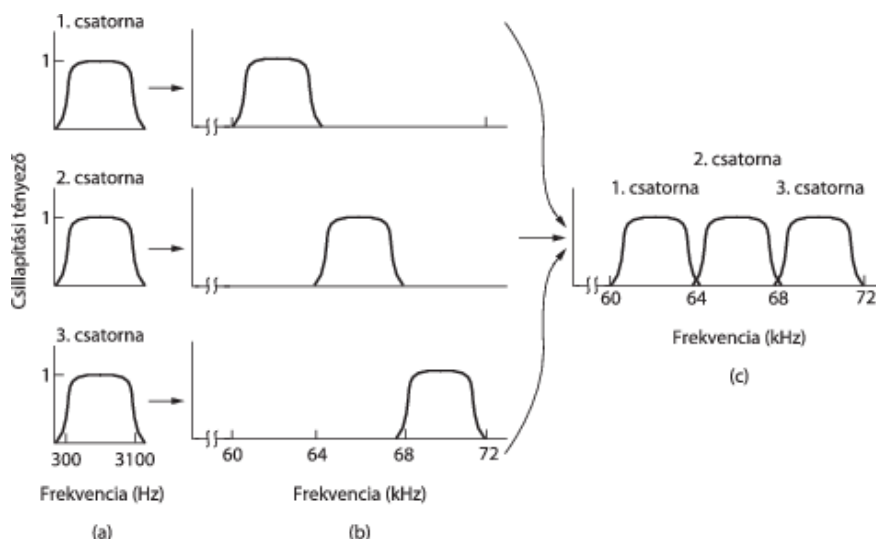
Az OCDM moduláció során több terjedési csatornát használunk ugyanazon a frekvencián, tehát több adatot küldünk ugyanazon az ortogonális csatornán.

Van probléma azonban ezzel a megoldással is. Az OCDM egy magas szögű amplitúdó modulációt állít elő, ami 16 független csatornát összegez, arra kényszerítve a mérnököket, hogy egy teljesen lineáris, nagyon költséges energia forrást implementáljon. Az OCDM sok energiát használ, és nem teszi lehetővé a fogadó fél képességeinek korlátozását. Ennek ellenére a Sharp és a Golden Bridge máig használják.

2.7. OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (21) (19) (20)

Az OFDM a manapság leginkább használt modulációs / multiplexeléses módszer a legújabb eszközökben is. (Wi-Fi 802.11ac, 4G, 5G, stb.) Az OFDM az FDM egy speciális típusa.

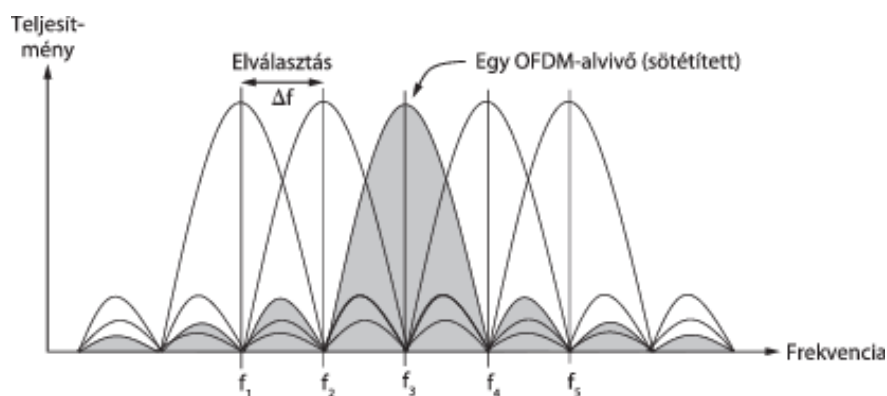
A frekvenciaosztásos multiplexelés (az angol nevéből - Frequency-division multiplexing - származó rövidítéssel: FDM) a jelemultiplexelés egy formája, ahol több alapsávi jelet különböző vivőfrekvenciával modulálnak, majd egy összetett (kompozit) jellé egyesítenek.



8. ábra. FDM

A fenti ábrán jól látjuk, hogy FDM esetén eltolással kerüljük el az interferenciát, azonban ennek oltárán feláldozunk sávszélességet. Egyértelműen elkülönülnek az alvivők a közös ábrán.

OFDM esetén, ezeket a jeleket "összébbitoljuk" egészen konkrétan úgy, hogy át is fedjük egymást. Így azonban szembe kell néznünk a fellépő interferenciával. Hogyan tudjuk ezt feloldani? A jelek ortogonális tulajdonságát használjuk ki. Ez azt jelenti, hogy egy adott jel mikor eléri a maximális értékét, minden szomszédos jel 0-n áll. Ennek köszönhetően az alvivők mintavételezhetőek a középfrekvenciákon anélkül, hogy szomszédaikkal interferálnának. Ahhoz, hogy ez működjön, védőidő szükséges a szimbólumjelek egy részének megismétléséhez, így meglesz a kívánt frekvenciaválasz. Ez a többletterhelés azonban sokkal kisebb, mint ami a sok védősávhoz szükséges.



9. ábra. OFDM

Az OFDM előnye az is, hogy mivel ugyanazon a sávszélességen több vivőt is használunk, a fading csak bizonyos vivőkre lesz hatással, de nem valószínű, hogy az információ egészére.

Minden nagysebességű vivőt további 52 alcsatornára osztunk, ezek nem mindegyike szolgálja az adatátvitelt, 4 a hibajavítást látja el. Ez a felosztás azért hasznos, mert a csatorna csillapításai egyszerűbben kezelhetők alvivő szinten. Néhány alvivő nagyon erősen csillapodhat, és kikerülhet azok közül az előnyben részesített alvivők közül, amelyek jól vehetők.

Az OFDM ötlete régebben már felmerült, azonban csak az utóbbi időben vált elterjedté, miután felismerték, hogy hatékonyan megvalósítható a digitális adatoknak az összes alvivő fölötti Fourier-traszformációjával (ahelyett, hogy minden alvivőt külön modulálnának).

Hivatkozások

- [1] <https://www.wirelessdesignonline.com/doc/modulation-techniques-for-high-speed-wlan-sys-0001>
- [2] https://users.itk.ppke.hu/~takacszy/mernokkamarawifi_17_04.pdf
- [3] <https://slideplayer.hu/slide/2077067/>
- [4] https://www.tilb.sze.hu/tilb/targyak/NGB_TA024_1/WiFi_jegyzet_2013.pdf
- [5] http://hadmernok.hu/163_15_nagy.pdf
- [6] https://www.youtube.com/watch?v=m_qTs_FQ_jU
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=W5DMfEuY2Vg>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=Ax7dYaRiY6o>
- [9] <https://wifipedia.hu/wifi>
- [10] https://hu.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- [11] <https://wifipedia.hu/most-akkor-router-modem-vagy-mindketto-egyszerre>
- [12] <https://www.lifewire.com/difference-between-modem-and-router-4159854>
- [13] <https://www.pcguru.hu/hirek/mi-fan-terem-a-wifi/36737>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying
- [16] <https://patents.google.com/patent/US7583582B2/en>
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/M-ary_transmission
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Complementary_code_keying
- [19] <https://www.youtube.com/watch?v=KCH07z1U25Q>
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=rKy5d0l3Et4>
- [21] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0103_panem_szamhal/ch02s05.html