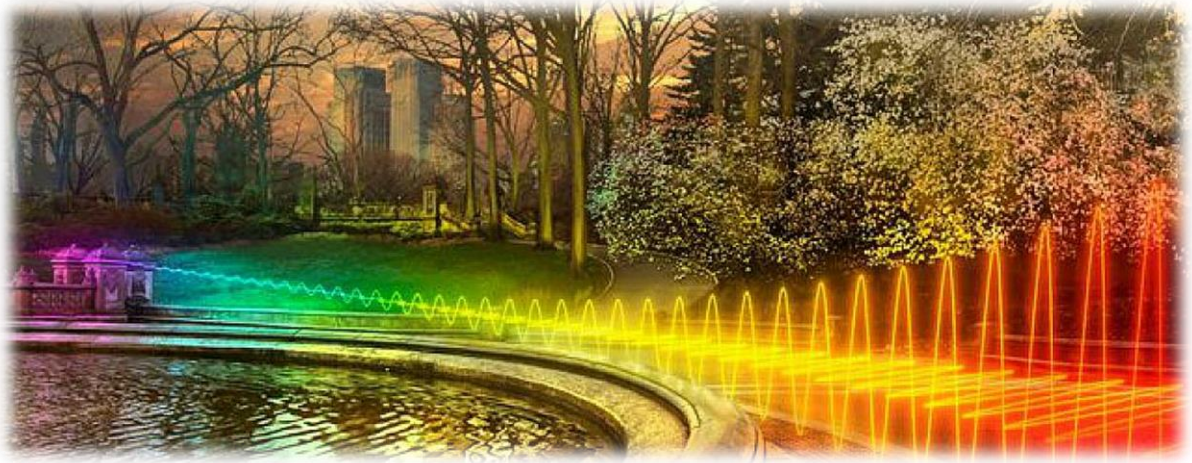


Vezetéknélküli átvitelben használt modulációs eljárások

Előírt laboratórium, önálló feladat



Kivonat

Egy elméleti összefoglaló arról, hogy a jelenleg használt **Wi-Fi** és Bluetooth **modemek** milyen modulációs eljárással kommunikálnak, és hogyan tudják az igen erősen korlátozott sávszélesség mellett a nagy sebességű összeköttetést létrehozni, fenntartani. Az **OFDM modulációs eljárás** működését egy LabVIEW szimuláció segítségével bemutatom, mely segít megérteni a moduláció tulajdonságait.

Név: Gábor Csaba Attila

Neptun kód: DU4POE

Dátum: 2016. 10. 15.

Vezetéknélküli átvitelben használt modulációs eljárások

Előírt laboratórium, önálló feladat

A borítón felhasznált képet Nickolay Lamm készítette, melyen a Wi-Fi jelek terjedését jeleníti meg.

Gábor Csaba Attila

DU4POE

2016. 10. 15.

Tartalomjegyzék

Bevezető.....	1
Vezeték nélküli átvitel.....	1
Frekvenciatartományok	1
ISM (Industry, Scientific and Medicine)	1
UNII (Unlicensed National Information Infrastructure)	1
Vezetéknélküli átvitel felhasználásai	1
GSM hálózatok.....	1
Bluetooth	1
Wi-Fi hálózatok.....	2
Wi-Fi technológia	2
Meghatározás.....	2
IEEE 802.11 szabvány meghatározása.....	2
IEEE Szabványok.....	2
802.11n szabvány ismertetése	2
Csatornakiosztás	2
Multiple Input Multiple Output (MIMO)	3
Használt modulációs eljárások	3
802.11ac szabvány rövid ismertetése	3
Nehézségek, a vezetéknélküli kommunikációnál.....	4
Erősen korlátozott sávszélességek.....	4
Interferencia.....	4
A megoldás, modulációs eljárások	5
Frekvenciaugratásos, szórt spektrumú moduláció (FHSS) rövid ismertetése	5
Közvetlen sorrendű, szórt spektrumú moduláció (DSSS) rövid ismertetése	5
Ortogonalis Frekvencia Osztásos Multiplexálás (OFDM) ismertetése	5
Kialakulása	5
Moduláció ismertetése.....	6
OFDM modulátor és demodulátor működése	7
Fogalmak, rövidítések.....	8
Felhasznált források.....	10

Bevezető

Napjainkban a vezeték nélküli hálózatok egyre elterjedtebbek. Szinte minden intézményben, családi házban rendelkezésre áll legalább egy vezeték nélküli hálózat, melyet leggyakrabban az internetelés biztosítására használnak. Ezek a vezeték nélküli technológiák egyre nagyobb szerepet kapnak a hordozható számítógépek, és okostelefonok terjedésével. A hatalmas terjedés következtében több fellépő akadályt is meg kellett, kell oldani. A továbbiakban ezeket, és megoldásaikat ismertetem. Részletesebben a Wi-Fi technológiát, annak nehézségeit és a jellemzően alkalmazott OFDM modulációt ismertetem.

Vezeték nélküli átvitel

Alább felsorolom, és röviden ismertetem a technológia legjellemzőbb felhasználásait. Magyarországon a vezeték nélküli kommunikációhoz felhasználható frekvenciasávokkal a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság gazdálkodik.

Frekvenciatartományok

Alapvetően két osztályt különítünk el, amely a Wi-Fi technológiában alkalmazva van, ezek a következők.

ISM (Industry, Scientific and Medicine)

- 2.4 – 2.4835 GHz-es sáv
- 14 előre definiált frekvencia
- max 100 mW kimenő teljesítmény

UNII (Unlicensed National Information Infrastructure)

- 5.150 – 5.250 GHz-es sáv
- 12 előre definiált frekvencia

Vezeték nélküli átvitel felhasználásai

GSM hálózatok

A mobiltelefonhálózatok országunkban már szinte mindenütt foghatók. A GSM hálózatok Magyarországon a 800/900/1800/2100 MHz-es frekvenciákon érhetők el. A GSM, HSDPA, LTE, mint legismertebb adatátviteli szabványok ezeket a frekvenciákat használják.

Bluetooth

A Bluetooth technológia Európában a 2,402 – 2,480 GHz-es frekvencán használható. Ez egy szabadon felhasználható frekvenciasáv. Az említett frekvenciasávot a Bluetooth eszközök 79 darab 1 MHz-es

sávban használják. Az adatcsatorna ebben a sávban másodpercenként 1600-szor változik véletlenszerűen („szórt spektrumú frekvenciaugrás”).

Wi-Fi hálózatok

A Wi-Fi technológia az IEEE 802.11 szabvány szerint a Bluetooth-hoz hasonlóan a szabadon felhasználható frekvenciasávot használja. Szintén használatos a 2,4 GHz-es sáv, illetve újabban az 5 GHz-es is. A továbbiakban elsősorban a Wi-Fi technológiát részletezem.

Wi-Fi technológia

Meghatározás

A Wi-Fi, az IEEE által kifejlesztett vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt megvalósító, széleskörűen elterjedt szabvány (IEEE 802.11) népszerű neve.

IEEE 802.11 szabvány meghatározása

Az IEEE 802.11 egy vezeték nélküli adatátviteli protokoll. Az OSI modell két legalsó rétegét, a fizikai és az adatkapcsolati réteget definiálja.

IEEE Szabványok

szabvány	megjelenés éve	frekvencia (GHz)	elvi sebesség (Mb/s)	hatótávolság	
				beltér (m)	kültér (m)
802.11	1997	2.4	2	~20	~100
802.11a	1999	5	54	~35	~120
802.11b	1999	2.4	11	~38	~140
802.11g	2003	2.4	54	~38	~140
802.11n	2009	2.4 / 5	600	~70	~250
802.11ac	2013	5	1300	~140	~350

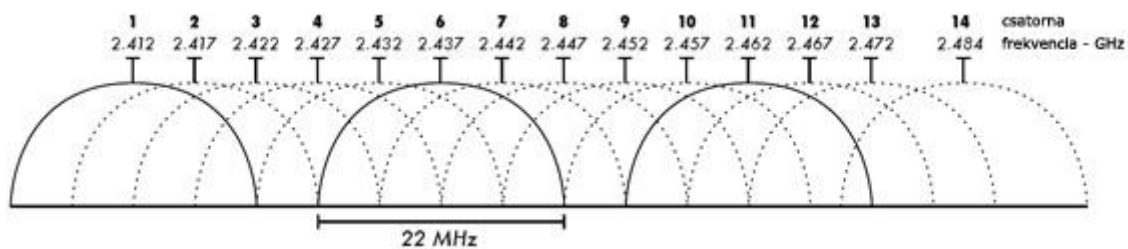
1.ábra: IEEE szabványok legfontosabb jellemzői

802.11n szabvány ismertetése

Csatornakiosztás

Manapság a legelterjedtebb szabvány, 2,4 és 5 GHz-es frekvencián működik. Egy frekvenciatartomány 20/40 MHz szélességű. Egy adatfolyam elvi csúcssebessége 20 MHz-en 75 Mb/s (40 MHz-en 150 Mb/s). A sebesség több adatfolyam (spatial stream) összefogása miatt gyorsabb a korábbi szabványokhoz képest. A forgalomban lévő routerek általában 1/2/3 adatfolyamosak.

A 40 MHz-es csatornák két, szomszédos 20 MHz-es csatorna összevonásával jönnek létre. A csatorna növelése kétszeresére, a sebességet is kétszeresére növelte.



2.ábra: 2.4 GHz-es Wi-Fi csatornák kiosztása – csak 3 átfedés nélküli csatorna van

Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Képes összeilleszteni a jeltöréseket a MIMO segítségével. Ez egy többantennás rendszer, amely a reflektált RF jeleket, a több utas interferenciát használja a jel teljesítményszintjének növelésére és a hatósugár kiterjesztésére. A MIMO tulajdonképpen megegyezik a térbeli multiplexeléssel. A több antenna révén egy időben megy végbe a vétel és adás egyaránt, lehetővé téve az elméleti maximális sebesség elérését.

Használt modulációs eljárások

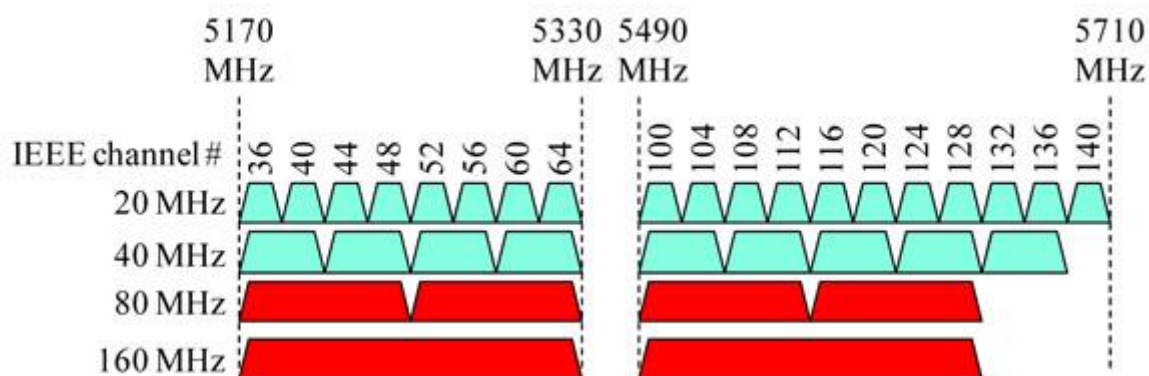
A 802.11n szabványhoz QPSK, 16-QAM, 64-QAM modulációt használnak mindegyik esetben OFDM-mel együtt. (lásd 5. oldal)

Modulation and Coding Index	Moduláció	Adatfolyamok száma
0	BPSK	1
1	QPSK	1
7	64-QAM	1
8	BPSK	2
14	64-QAM	2
21	64-QAM	2
28	16-QAM	4
31	64-QAM	4

3.ábra: 802.11n szabványban használt digitális modulációs eljárások

802.11ac szabvány rövid ismertetése

Az IEEE 802.11ac jelenleg a legújabb Wi-Fi szabvány, amely már egyre gyorsabban terjed, ugyan a 802.11n szabvány népszerűségét még nem előzte meg. Nagyobb elméleti sebességét többek között a megnövelt szélességű csatornáknak köszönheti, ugyanis a 20/40 MHz helyett 80, sőt akár 160 MHz-es csatornákkal működik, továbbá akár nyolc adatfolyam összefogása történhet. A frekvenciatartománya az egyes csatornáknak nagyon széles, ezért a 2.4 GHz-en ez a szabvány nem használható. Az 5 GHz-es frekvencián nagyobb szélesség áll rendelkezésre, ezen a frekvencián Európában 4 darab, egymással nem átlapolódó 80 MHz-es csatorna hozható létre.



4. ábra: 5 GHz-es Wi-Fi csatornák, nagyobb szélesség, nincs átlapolódás

A szélesebb csatornáknak, nagyobb adatfolyamoknak, magasabb modulációnak (256QAM) köszönhetően sokkal nagyobb sebesség érhető el a kevésbé terhelt 5 GHz-es frekvencián.

adatfolyamok száma	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
1	75 Mb/s	150 Mb/s	433 Mb/s	867 Mb/s
2	150 Mb/s	300 Mb/s	866 Mb/s	1.7 Gb/s
3	225 Mb/s	450 Mb/s	1.3 Gb/s	2.6 Gb/s

5. ábra: sebességnövekedés 5 GHz-en a csatornaszélesség és az adatfolyamok számának növelésével

A magasabb frekvencia következtében a hatótávolság csökken, ezt azonban a Beam Forming technológiával kiküszöbölték. Körkörös sugárzás helyett az adó (router) és vevő (hálózati adapter) megállapítja, hogy melyik az optimális átviteli irány a kapcsolatuk fenntartásához.

Nehézségek, a vezeték nélküli kommunikációnál

Erősen korlátozott sáv szélességek

Az erősen korlátozott sáv szélességek okozzák az egyik legnagyobb problémát, ugyanis a 2.4 GHz-es sáv nagyon kis sáv szélességet ad, amely a mai nagy sebességű internethasználatot korlátozza. Erre egy részleges megoldást nyújt a 802.11ac szabvánnyal megérkező, új 5 GHz-es frekvenciasáv. Utóbbinak nagy előnye a nagyobb sáv szélesség. A sáv szélességgel szorosan összekapcsolódó a következő akadály.

Interferencia

Az interferencia már a technológia megjelenésétől okoz bizonyos nehézségeket, mivel a jel rádióhullámként terjed a „levegőben”, így a különböző rádióhullámok zavarják egymást. A Wi-Fi hálózatok terjedésével pedig az interferencia egyre csak nagyobb problémát okoz, főleg sűrűn lakott területeken. Például egy társasházban 20-30, akár több Wi-Fi router is lehet. Ennyi eszköznek pedig nincs külön csatorna a 2.4 GHz-es sávban, tehát zavarják, gyengítik egymás jeleit, ezzel lassítva a kommunikációt.

A megoldás, modulációs eljárások

Mivel a vezeték nélküli frekvenciasávban a fent említett okokból nem garantált a zavarmentes kommunikáció, így a hagyományos rádiós kapcsolat nem működőképes. A szabvány éppen ezért kidolgozott két szórt spektrumú modulációs technikát, az egyik a frekvenciaugratásos, szórt spektrumú, a másik a közvetlen sorrendűszórt spektrumú technika. Mindkét technikának az a lényege, hogy a ksigugázásra kerülő információ széles sávban kerüljön átvitelre oly módon, hogy kellő redundanciát is tartalmazzon. Ekkor ugyanis a vevő akkor is venni tudja a teljes, sértetlen információt, ha egy-egy frekvencián éppen folyamatos zavar van jelen a 2.4 GHz-es sávban.

Frekvenciaugratásos, szórt spektrumú moduláció (FHSS) rövid ismertetése (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Az FHSS-technikában a rendelkezésre álló sáv 75 darab 1 MHz-es sávra lett felosztva, és az adó és a vevő egy adott frekvenciaugratási sablon szerint váltja a csatornákat másodpercenként igen sokszor. A kisugárzott jel így széles sávú zajként jelenik meg, ugyanakkor a vevő követni tudja a frekvenciaváltásokat és ezzel egy jó interferenciátűrő átvitel valósul meg.

Közvetlen sorrendű, szórt spektrumú moduláció (DSSS) rövid ismertetése (Direct Sequence Spread Spectrum)

A DSSS-technikában a sávot 14 darab 22 MHz-es csatornára osztották fel, amelyek átlapolódnak. Egy kapcsolat egy csatorna szélességében épül fel oly módon, hogy az adatjeleket egy, az adatjelnél jóval nagyobb bitsebességű kóddal megszorozzák. A küldött információ így jelentős redundanciával érkezik meg a vevőoldalra, ahol a kód ismeretében visszaállítható.

Ortogonalis Frekvencia Osztásos Multiplexálás (OFDM) ismertetése (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Kialakulása

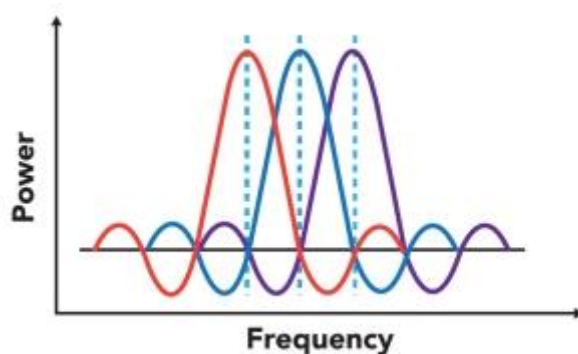
Jellegéből adódóan nem egyszerű eldönteni, hogy modulációs vagy multiplexelési technika, azonban a szabványcsaládok a korábbi modulációs megoldásokhoz képest egy fejlettebb modulációs technológiaként kezelik. Ez a sokvívös rendszer a legbonyolultabb modulációs eljárások közé tartozik. Ezt a modulációs technikát az IEEE 802.11a szabványhoz alkották meg, tehát alapvetően az UNII frekvenciához, de használatos a 2.4 GHz-es sávban is.

Moduláció ismertetése

Az információt ugyanazon sávszélességen belül nem egy hanem több vivőre ültetik rá, így kellő mértékű hibajavítással ellátva a fading csak bizonyos vivőkre, vagy vivőcsoportokra lesz hatással, de semmiképp sem az egész információra. A szomszédos vivők nem zavarják egymást, mivel ortogonálisak. Az információ a vivők közötti átszövésével oszlik meg, azaz egy nagysebességű hordozót további kisebb sebességű alcsatornákra oszt szét, és ezeket összefogva egyidejűleg használja információ továbbítására.

Minden nagysebességű vivő 52 alcsatornára van osztva. Az OFDM nem mindegyik alvivőt használja adatátvitelre, arra csak 48 alcsatornát használ, a fennmaradó 4 alcsatorna pedig hibajavítási célokat szolgál.

Az alvivők mindegyikét QPSK, 16-QAM vagy 64-QAM modulációval modulálják, és köztük a távolság állandó. Az OFDM modulált jel a csatornát egyenletesen, zajszerűen terheli, azaz a csatorna spektrálisan kihasznál.



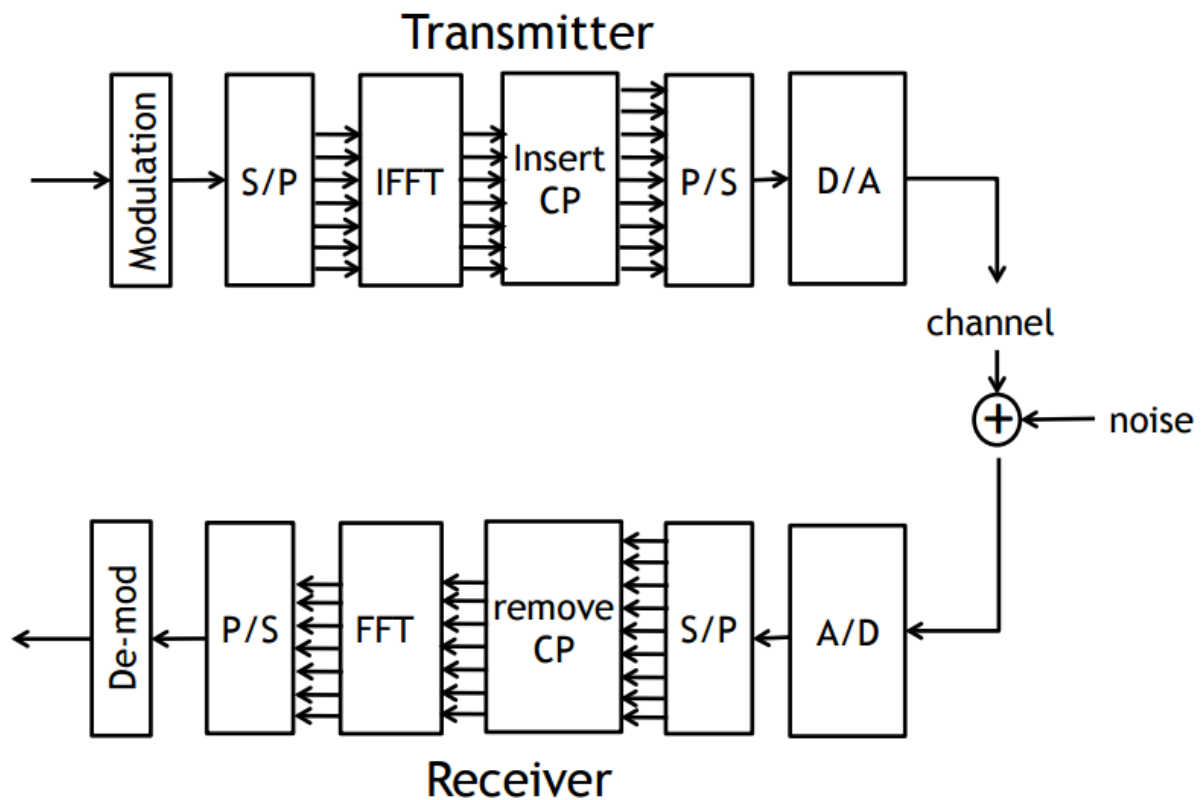
6.ábra: az egyes alvivők középfrekvenciáján a többi vivő nulla értéket vesz fel

Az ezzel a modulációval kialakított rendszer biztosítja az interferenciamentes átvitelt, akár Non-Line-Of-Sight (nincs közvetlen rálátás a két kommunikáló fél között) környezetben is. A vivők megoldják a reflexió, több utas terjedés okozta problémákat is. Ha néhány vivő esetén interferencia tapasztalható, akkor is a többi rendelkezésre áll, ennél fogva ezen eltérő frekvenciákon a kellemetlen hatások nem tapasztalhatók.

Segítségével az adatsebesség nagymértékben növelhető az információ párhuzamos csatornákon történő átvitelével, ezen kívül robosztus megoldást jelent a szimbólumközi áthallás, valamint a frekvencia szelektív fading csökkentésére. Az OFDM továbbá még megbízhatóbbá teszi az átvitelt, hiszen a csatornaként felhasznált frekvenciasávot több elemi vivőre osztja.

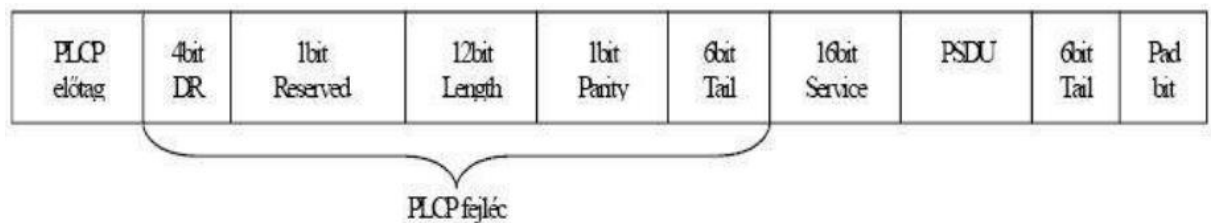
A rendszer skálázhatóságának megvalósítását két dolog szolgálja: az FFT (Fast Fourier Transformation) méretének változtatása, miközben az alvivő frekvenciája állandó értéken marad.

OFDM modulátor és demodulátor működése



7.ábra: OFDM modulátor és demodulátor

- modulation: a jel digitális modulálása QPSK, 16-QAM vagy 64-QAM modulációval
- S/P (Serial to Paralell Converter):
- IFFT (Inverse Fast Fourier Transformation): IFFT elvégzése
- Insert CP (Cyclic Prefix): PLCP fejrész hozzáadása



8.ábra: PLCP fejrész felépítése

- P/S (Paralell to Serial Converter):
- D/A (Digital to Analog Converter): digitális jelből analóg jel lesz, küldhető rádióhullámmal
- channel + noise: az OFDM analóg jel küldése, esetleges véletlenszerű zaj hozzáadódásával
- A/D (Analog to Digital Converter): analóg jelből digitális jel előállítása
- S/P (Serial to Paralell Converter):
- remove CP (Cyclic Prefix): PLCP fejrész eltávolítása
- FFT (Fast Fourier Transformation): FFT elvégzése
- P/S (Paralell to Serial Converter):
- De-mod (demodulation): a jel digitális demodulálása

Fogalmak, rövidítések

- *ISM: Industril, Scientfic and Medical, azaz ipari, tudományos és orvosi alkalmazások részére kiosztott frekvenciasáv elnevezése, ez a 2.4 GHz-es sáv.*
- *UNII: Unlicenced National Information Infrastructure, azaz engedélymentes nemzeti információs infrastruktúra, ez az 5 GHz-es frekvenciasáv.*
- *GSM: Global System for Mobile Communications, szabvány a mobiltelefonok által használt második generációs digitális cellás hálózatok protokolljainak leírására.*
- *Bluetooth: rövid hatótávolságú, adatcseréhez használt, nyílt, vezeték nélküli szabvány.*
- *IEEE: Fontos szabványosító szerv az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), amely a villamosmérnökök és informatikusok nemzetközi szervezete.*
- *MIMO: Olyan vezeték nélküli kommunikációs rendszer, ahol mind a fogadó, mind a küldő oldalon több antennán keresztül folyik a kommunikáció.*
- *QPSK: A kvadratúra fázisbilleltűzés (Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK) egy modulációs eljárás, ahol a vivőjel négy fázissal rendelkezhet: 45, 135, 225 és 315 fokos eltolással, és ahol így a jel egy fázisváltozása két bit információt hordoz.*
- *QAM: A kvadratúra amplitúdómoduláció (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) egy modulációs eljárás, ahol az információt részben a vivőhullám amplitúdójának változtatásával, részben annak fázisváltoztatásával („kvadratúra”) kódoljuk.*
- *Beam Forming: A technológia lényege, hogy a rádiójelet oda, és csak oda juttassa el, ahol a kliens várja azt, sehová máshova. A kliens jelet küld a routernek a pontos pozíciójáról, így a router képes pontosan oda irányítani a rádiójelet.*
- *Interferencia: Az interferencia egy fizikai jelenség, akkor következik be, ha két különböző forrású, koherens hullám találkozik, azaz olyan hullámok, amelyek fáziskülönbsége állandó. Ami nem azonos a fáziseltolódással. Ekkor létrejönnek olyan pontok a térben, ahol a hullámok maximálisan erősítik, illetve olyanok, ahol maximálisan gyengítik egymást (annak függvényében, hogy az egyes pontokba a két hullám milyen fáziskülönbséggel érkezik).*
- *FHSS: Frekvenciaugratásos, szórt spektrumú moduláció (Frequency Hopping Spread Modulation)*

- *DSSS: Közvetlen sorrendű, szórt spektrumú moduláció (Direct Sequence Spread Spectrum)*
- *OFDM: Ortogonális frekvencia osztásos multiplexálás / moduláció (Orthogonal Frequency Divide Multiplexing / Modulation)*
- *Non-Light-Of-Sight: nincs közvetlen rálátás*

Felhasznált források

<http://electronicdesign.com/communications/understanding-ieee-80211ac-vht-wireless>

http://scinetwork.hu/docs/eloadasok/20041123-sci-nap/MolnarRobert_20041123.pdf

<http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MI.pdf>

http://www.inf.u-szeged.hu/projectdirs/bohusoktat/regi/wlananyagok/kimkact_sze_802.11n.pdf

http://www.mini-mum.hu/media/doc/mini-mum_2011_eloadas_anyagok/Wireless%20technologiak.pdf

http://www.mini-mum.hu/media/doc/mini-mum_2011_eloadas_anyagok/Wireless%20technologiak.pdf

<http://www.networkcomputing.com/wireless-infrastructure/when-you-should-disable-24-ghz-radios-wlan/1583544862>

http://www.tilb.sze.hu/tilb/targyak/NGB_TA024_1/krp-6f.pdf

http://www.tilb.sze.hu/tilb/targyak/NGB_TA024_1/WiFi_jegyzet_2013.pdf

https://prohardver.hu/tudastar/ieee_802_11ac_wi-fi_szabvany.html

https://prohardver.hu/tudastar/ieee_802_11n_wi-fi_szabvany.html

<https://users.itk.ppke.hu/~takacszy/mernokkamwifi.pdf>

https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/_media/wn_11fall/ofdm_new.pdf

Andrew S. Tannenbaum, David J. Wetherall [2013]: Számítógép-hálózatok, harmadik, bővített, átdolgozott kiadás, PANEM Könyvek Kft

https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_orthogonal_frequency_division_multiplex.pdf