

## WiFi

Opakování – Typy přenosových médií – bezdrát

WiFi patří mezi bezdrátové radiové mobilní sítě. Níže je příklad dalších bezdrátových sítí:

- WiMAX
- Bluetooth
- UWB tj. ultra-širokopásmové - bezdrátová technologie, která může být použita při nízké úrovni energie pro širokopásmovou komunikaci krátkého dosahu. Např. Wireless USB, implementace nad UWB
- ZigBee - bezdrátová komunikační technologie vystavěná na standardu IEEE 802.15.4. Je určena pro spojení nízkovýkonových zařízení v sítích PAN na malé vzdálenosti do 75 metrů. Primární určení směřuje do aplikací v průmyslu a senzorových sítích. Pracuje v bezlicenčních pásmech (generální povolení) přibližně 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz. Přenosová rychlost činí 20, 40, 250 kbit/s.
- GSM

## Vývoj WiFi

Původně byl standard WiFi tvořen jako bezdrátový doplněk a náhrada potřeby montáže rozvodů sítě LAN. Proto označení WLAN – Wireless LAN. Použití vně budov (extravilan) se nepředpokládalo. Proto Wi-Fi není efektivní na point-to-point spoje. Přesto se dnes v této oblasti používá. Technologie WiFi je v současnosti natolik rozšířená, že se řadí do kategorie přístupových sítí tj. realizace přístupu k internetu (IP síť).

Kompatibilitu kontroluje Wi-Fi Alliance. „Wi-Fi“ je ochranná známka.



Certifikační organizace WiFi Alliance provádí certifikace zařízení a na jejich webových stránkách najdete seznam certifikovaných produktů – kompatibilních. Je vhodné při výběru zařízení toto zohlednit (<http://www.wi-fi.org/>)



## Wi-Fi CERTIFIED Interoperability Certificate

This certificate lists the features that have successfully completed Wi-Fi Alliance interoperability testing. Learn more: [www.wi-fi.org/certification/programs](http://www.wi-fi.org/certification/programs)



**Certification ID: WFA50419**

**Page 1 of 2**

<b>Date of Last Certification</b>	September 20, 2013
<b>Company</b>	Dell
<b>Product</b>	Dell PowerConnect W-7210 Controller/Dell PowerConnect W-AP225 Access Point
<b>Model Number</b>	W-7210/W-AP225
<b>Product Identifier(s)</b>	
<b>Category</b>	Enterprise Access Point, Switch/Controller or Router
<b>Hardware Version</b>	Product: , Wi-Fi Component:
<b>Firmware Version</b>	Product: 6.3.0.0, Wi-Fi Component:
<b>Operating System</b>	Other: Aruba OS, version: 6.3.0.0
<b>Frequency Band(s)</b>	2.4 GHz, 5 GHz - Switchable

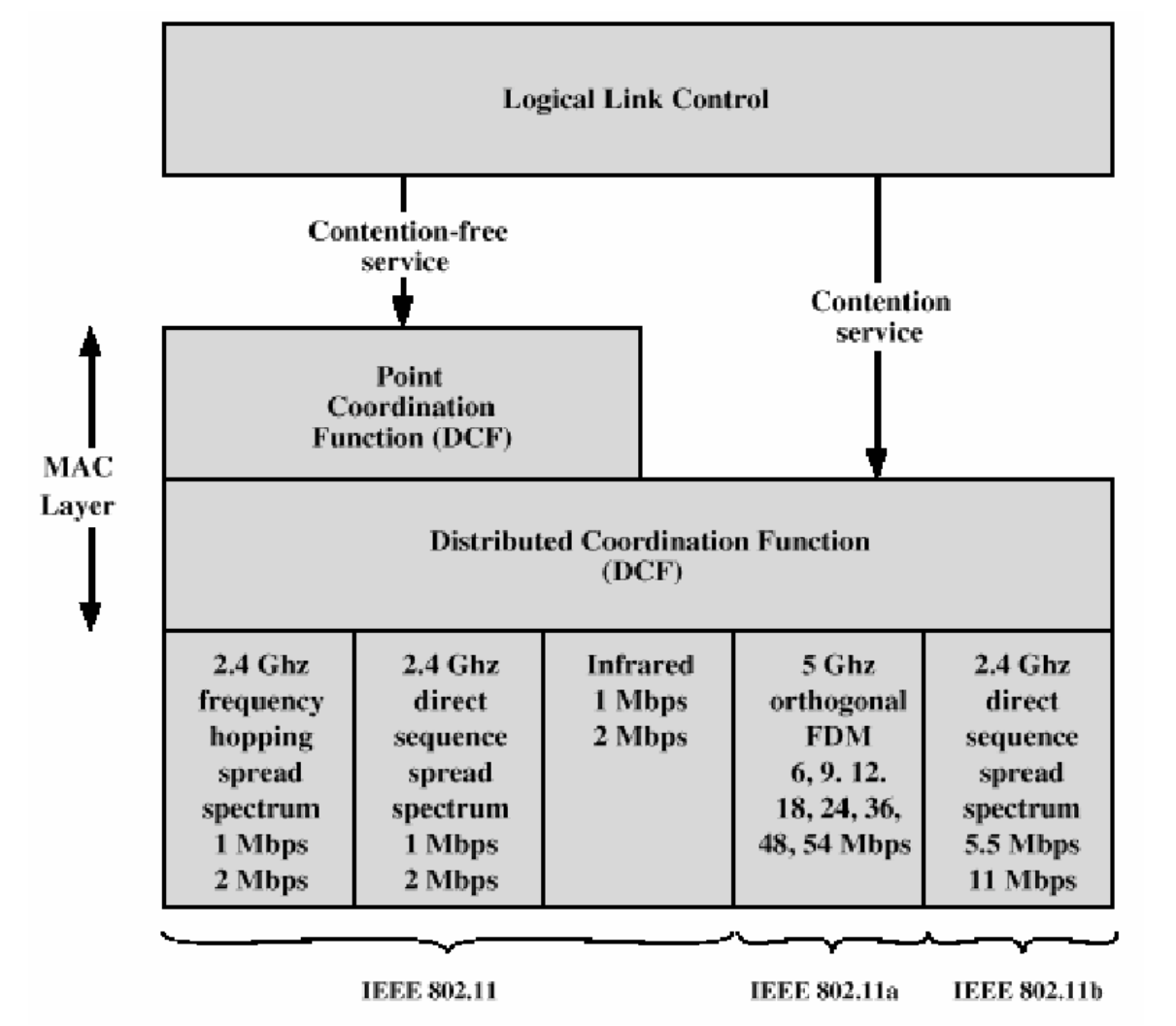
### Summary of Certifications

<b>CLASSIFICATION</b>	<b>PROGRAM</b>
Connectivity	Wi-Fi CERTIFIED™ a, b, g, n, ac
	WPA™ – Enterprise, Personal
	WPA2™ – Enterprise, Personal
Optimization	WMM®
	WMM®-Power Save

První verze přijata v r. 1997. Dosah až několik kilometrů (směrové antény, přímá viditelnost,...) Konfigurace sítí: ad-hoc (p2p) infrastrukturní.

První standard IEEE 802.11 je dnes označován jako „802.11 legacy“. Pracoval v pásmu 2.4 GHz, 1-2 Mbit/s. Modulace byla FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) nebo DSSS. Ve standardu bylo tolik možností volby, že výsledné produkty byly vzájemně nekompatibilní a proto se nerozšířil. Maximální povolený výkon **EIRP** je 100 mW (20 dBm).

## IEEE 802.11 architektura



V současnosti jsou nosnými standardy WiFi IEEE 802.11 a / b / g / n / p / ac / ad . Různé doplňky jsou potom IEEE 802.11 f / i / r / ...

Přehled standardů IEEE 802.11 s jejich základními parametry:

<b>Standard</b>	<b>Rok vydání</b>	<b>Pásmo [GHz]</b>	<b>Maximální rychlost [Mbit/s]</b>	<b>Fyzická vrstva</b>
původní IEEE 802.11	1997	2,4	2	DSSS a FHSS
IEEE 802.11a	1999	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n	2009	2,4 nebo 5	600	MIMO OFDM
IEEE 802.11y	2008	3,7	54	
IEEE 802.11ac	2013	5	1000	MU-MIMO OFDM
IEEE 802.11ad	2014	2,4 , 5 a 60	7000	

Popis standardů (včetně doplňků):

- IEEE 802.11 – Původní standard pro 1 a 2 Mbit/s rychlost s frekvencí 2,4 GHz (1999)
- IEEE 802.11a – 54 Mbit/s, 5 GHz standard (1999, produkty od 2001)
- IEEE 802.11b – Vylepšení 802.11 s podporou 5,5 a 11 Mbit/s (1999)
- IEEE 802.11c – Bezdrátové přemostění (bridge); obsaženo v IEEE 802.1D standardu (2001)
- IEEE 802.11d – Mezinárodní roamingový dodatek (2001)
- IEEE 802.11e – Vylepšení QoS, včetně dlouhých (burst) paketů (2005)
- IEEE 802.11F – Komunikace mezi bezdrátovými přístupovými body (2003)
- IEEE 802.11g – 54 Mbit/s, 2,4 GHz standard (zpětně kompatibilní s 802.11b) (2003)
- IEEE 802.11h – Správa spektra 802.11a (5 GHz) pro Evropu (2004)
- IEEE 802.11i – Vylepšený autentizační a šifrovací algoritmus (WPA2) (2004)
- IEEE 802.11j – Dodatek pro Japonsko; nová frekvenční pásma pro multimedia (2004)
- IEEE 802.11k – Vylepšení správy rádiových zdrojů pro vysoké frekvence. (Navazuje na IEEE 802.11j)
- IEEE 802.11l – (rezervováno a nebude použito)

- IEEE 802.11m – Správa standardu: přenosové metody a drobné úpravy.
- IEEE 802.11n – Vylepšení pro vyšší datovou propustnost
- IEEE 802.11o – (rezervováno a nebude použito)
- IEEE 802.11p – Bezdrátový přístup pro pohyblivé prostředí (auta, vlaky, sanitky)
- IEEE 802.11q – (rezervováno a nebude použito, aby se nepletlo s 802.1Q)
- IEEE 802.11r – Rychlé přesuny mezi přístupovými body (roaming) (2008)
- IEEE 802.11s – Samoorganizující se bezdrátové sítě. (ESS Mesh Networking) 2011
- IEEE 802.11T – Předpověď bezdrátového výkonu – testovací metody
- IEEE 802.11u – Spolupráce se sítěmi mimo 802 standardy (například s mobilními sítěmi) 2011
- IEEE 802.11v – Správa bezdrátových sítí (konfigurace klientských zařízení během připojení)
- IEEE 802.11w – Chráněné servisní rámce
- IEEE 802.11x – (rezervováno a nebude použito)
- IEEE 802.11y – Pro běh ve frekvenčním pásmu 3650 – 3700 MHz (veřejné pásmo v USA) 2010
- IEEE 802.11z: Dodatek pro Direct Link Setup (DLS) (September 2010)
- IEEE 802.11-2012: Shrnutí pro standardy k, n, p, r, s, u, v, w, y, a z (March 2012)
- IEEE 802.11aa: Robustní streaming pro Audio Video Transport Streams (June 2012)
- IEEE 802.11ac: Velmi vysoká propustnost (Very High Throughput) <6 GHz,<sup>[46]</sup> navazuje na 802.11n: lepší modulační schéma (expected ~10% throughput increase), širší kanály (estimate in future time 80 to 160 MHz), multiuživatelský MIMO,<sup>[47]</sup> (December 2013)
- IEEE 802.11ad: Velmi vysoká propustnost (Very High Throughput) 60 GHz (December 2012) — viz, WiGig
- IEEE 802.11ae: Prioritization of Management Frames (March 2012)
- IEEE 802.11af: TV Whitespace (February 2014)

- IEEE 802.11mc: Sloučení 802.11-2012 aa, ac, ad, ae & af bude publikováno jako 802.11-2016 (~ *March 2016*)
- IEEE 802.11ah: Sub 1 GHz license exempt operation (e.g., sensor network, smart metering) (~ *March 2016*)
- IEEE 802.11ai: Fast Initial Link Setup (~ *November 2015*)
- IEEE 802.11aj: China Millimeter Wave (~ *June 2016*)
- IEEE 802.11ak: General Links (~ *May 2016*)
- IEEE 802.11aq: Pre-association Discovery (~ *July 2016*)
- IEEE 802.11ax: High Efficiency WLAN (~ *May 2018*)
- IEEE 802.11ay: Enhancements for Ultra High Throughput in and around the 60 GHz Band (~ *TBD*)
- IEEE 802.11az: Next Generation Positioning (~ *TBD*)

## Realizace fyzické vrstvy

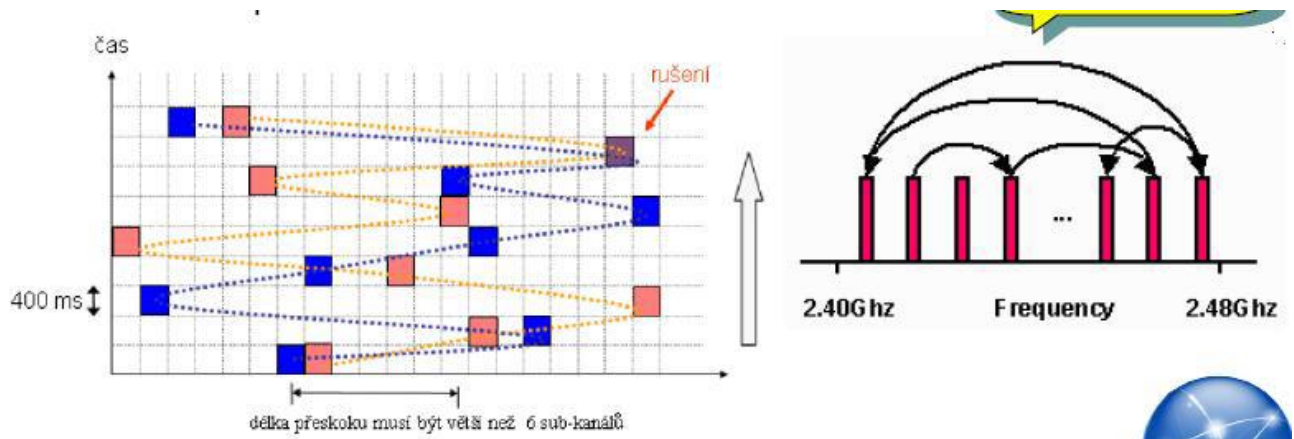
Službou je spolehlivý přenos jednotlivých datových bitů. Přenos dat se musí vejít do omezeného frekvenčního pásma. Jeden kanál má cca šířku 20 MHz. Digitální signál nelze vysílat přímo jako např. u Ethernetu. Přímý přenos ostrých hran digitálního signálu vyžaduje velmi široké přenosové pásmo. V reálu 10Mbit Ethernet zabírá pásmo 0-10 Mhz. Proto se používá různých typů modulací nosné frekvence. Frekvence, amplituda, nebo fáze modulace je digitální, parametr se tedy mění skokově.

Verze 802.11 definují metody modulace:

**FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** - náhodné přeskakování po kanálech. Jen v první verzi 802.11, dnes u nás použitelné jen jako rušička – **nepoužívá se**.

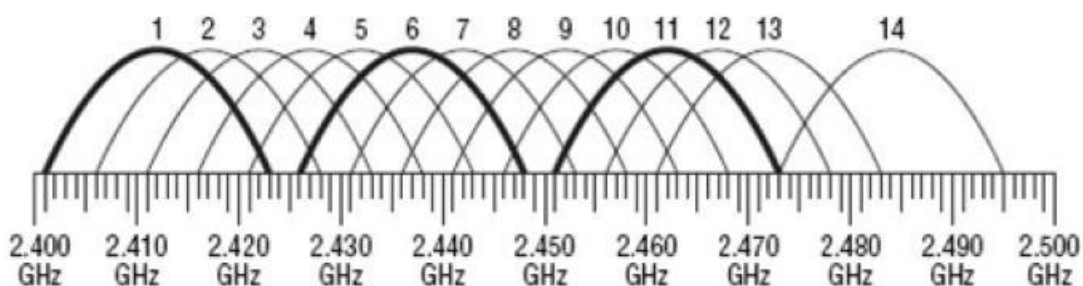
Pozn.: opakování modulace FHSS viz. 3 ročník – používají pouze některé standardy Bluetooth nebo tuto technologii používá Izraelský Breezcom (zařízení breeznet).

79kanálu , šířka kanálu 1MHz, přepínání min.2,5krát/sec typicky 20x/sec.



**DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)**- použito v 802.11b/g. Jeden bit se kóduje do sekvence bitů.

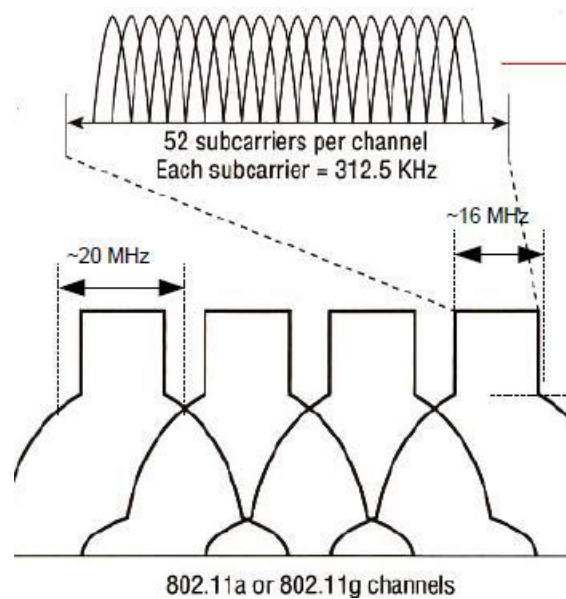
Šířka pásma 83,5 MHz → 14 kanálů (ne ve všech státech, ČR 13), odstup 5 MHz, šířka kanálu je 22 MHz → pouze 3 nepřekrývající



<https://www.youtube.com/watch?v=3nz0HmPcoj0>

**OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** - v 802.11g a 802.11a, modifikovaně v 802.11n. Pásmo se dělí do překrývajících podpásem, každé nese část dat.

Pásmo obsahuje 4 kanály po 20MHz a každý je rozdělen na 52 subnosných po 312,5kHz (pomalý datový tok, ale mnohokrát)

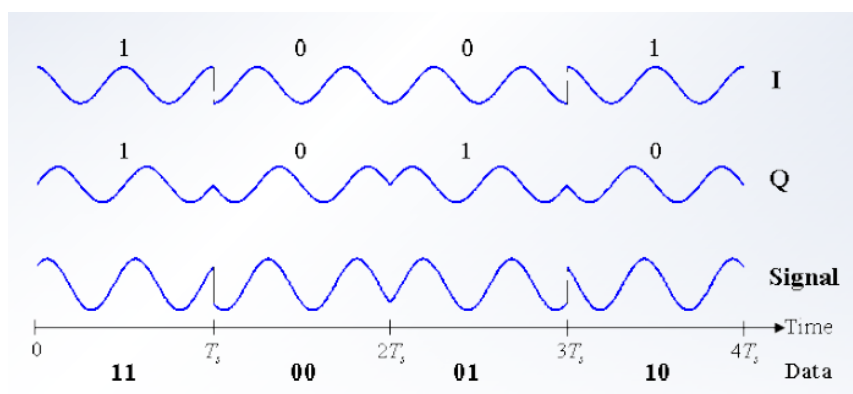


## Modulace DSSS – kódování

Pro větší odolnost se jeden bit kóduje 8 vysílanými bity tzv. **chipping code**. Příjemce musí tento kód znát a být synchronizovaný, aby poznal, který bit je v kódu první. Místo „0“ se vysílá chipping code, místo „1“ jeho negace. Příjemce chipping code odečte (operace XOR), a pokud je ve výsledku víc jedniček, přečte „1“, jinak se jedná o „0“.

Data:	0	1	0	1
Kód:	01101011	01101011	01101011	01101011
Signál:	01101011	10010100	01101011	10010100

Pro přenos digitálního signálu se používá se fázová modulace. Rychlost 11 Mbps kóduje 8 bitů na 5.5 Mbps 4 bity. Kódování je CCK (Complementary Code Keying).





DSSS výhody:

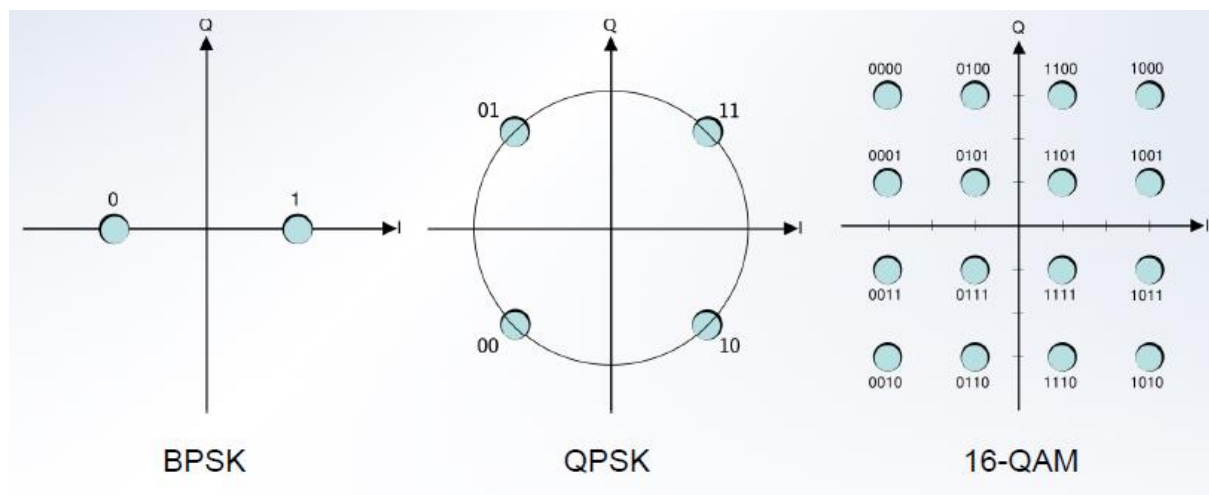
- Odolný proti šumu (rekonstrukce i po změně 3 bitů)
- Odolný proti rušení od jiného vysílání DSSS
- Nepřidávají se další samoopravné kódy (vyšší režie)

## Modulace OFDM - kódování

Frekvenční pásmo je rozděleno na části, kde každá část má vlastní nosnou frekvenci, na níž je modulována část přenášených dat. Části se částečně překrývají a součet částí je větší než celek.

802.11a dělí 20 MHz pásmo na 52 subpásem, ale jen 48 z nich používá pro přenos dat.  
802.11n používá 108 subpásem na kanálech šířky 40 MHz.

Přenášené bity se kódují do změn fáze dvou harmonických vln, posunutých o  $\pi/2$ . Různá kódování se liší počtem stavů na jeden symbol - BPSK (2), QPSK (4), 16-QAM (16), 64-QAM (64).



Technologie: vysílání v UNII → OFDM (802.11a), HT-OFDM (802.11n),

UNII-1 max\*1. **50 mW**, UNII-2 max. 250 mW, UNII-3 max. 1000 mW

Pozn.: Nebezpečí kolize s autoradary → TPC, DFS (802.11h)

Každé, ze 48 subpásem, přenáší stejný díl dat. Délka symbolu je 3.2  $\mu$ s. Mezi přenášené symboly se vkládá ochranný interval 0.8  $\mu$ s kvůli odrazům signálu. Jeden symbol se posílá každé 4  $\mu$ s.

Počet bitů přenášený symbolem závisí na kódování (BPSK: 1, QPSK: 2, 16-QAM: 4, 64-QAM: 6) Mezi datové bity se vkládají další pro opravy chyb. Poměry jsou 1:2, 2:3, 3:4. Přenosová rychlost je dána kombinací parametrů kódování a opravnými kódy (všechny kombinace nejsou platné).

$$\text{rate} = \text{carriers} \cdot \text{coded\_bits} \cdot \text{code\_rate} \cdot \text{opravný kód}$$

Modulace	Bitů na symbol	Poměr kódování	Počet nosných	Rychlost
BPSK	1	1/2	48	6
BPSK	1	3/4	48	9
QPSK	2	1/2	48	12
QPSK	2	3/4	48	18
16-QAM	4	1/2	48	24
16-QAM	4	3/4	48	36
64-QAM	6	2/3	48	48
64-QAM	6	3/4	48	54

Viz. <https://www.youtube.com/watch?v=W5DMfEuY2Vg>

OFDM výhoda

- OFDM efektivně využije celý kanál (nosných frekvencí je mnoho)

OFDM nevýhoda

- Vyšší přenosová rychlost OFDM vyžaduje vyšší výkon. Ten je povolen v pásmu 5GHz (cca +10dB – IEEE 802.11a). V zaručeném pásmu 2,4GHz je IEEE 802.11g špatně použitelné.

## Jak zvýšit přenosovou rychlost?

- zvýšení modulační rychlosti - limitem je šířka kanálu
- zvýšení počtu změn v modulačním intervalu - už současná 64-QAM způsobuje problémy v zaručenějším prostředí

Řešením je kombinace nových technologií (v rámci HT – High Throughput – IEEE 802.11n HT OFDM) :

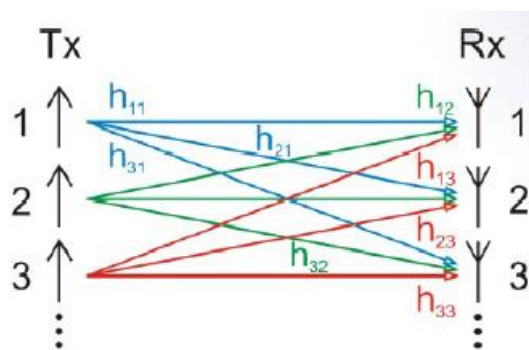
- MIMO – Multiple Input Multiple Output – předpokladem je vícenásobný přijímací / vysílací řetězec např, 3x4 MIMO → 3x Tx a 4x Rx



- Transmit Beamforming
- Channel Bonding
- Burst režim rámců – ACK po několika rámcích ( přístupové metody)

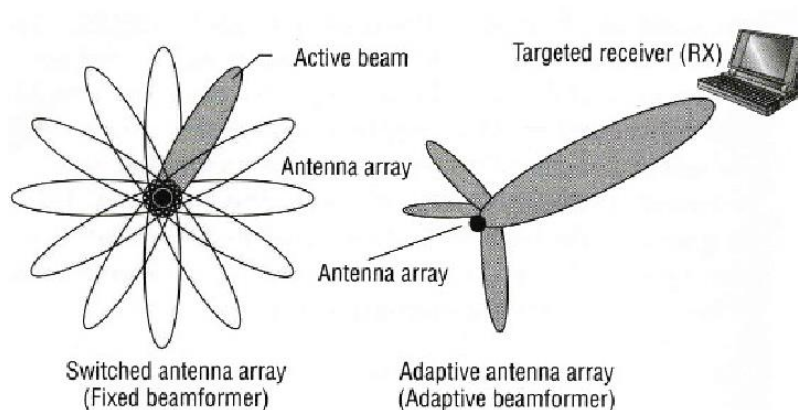
## MIMO

Využívá původní problém vícecestného šíření i pomocí odrazů signálu a jeho interferencí. Jedna anténa potom superponuje všechny cesty signálu – to se projevuje jako zkreslení. MIMO rozmístí více antén Tx a Rx ( vzdálenost více jak  $\lambda/2$ ). Vznikne tak komunikační kanál s vícecestným šířením signálu. Signály jde rozkódovat samostatně ( počet cest je omezený).



## Beamforming

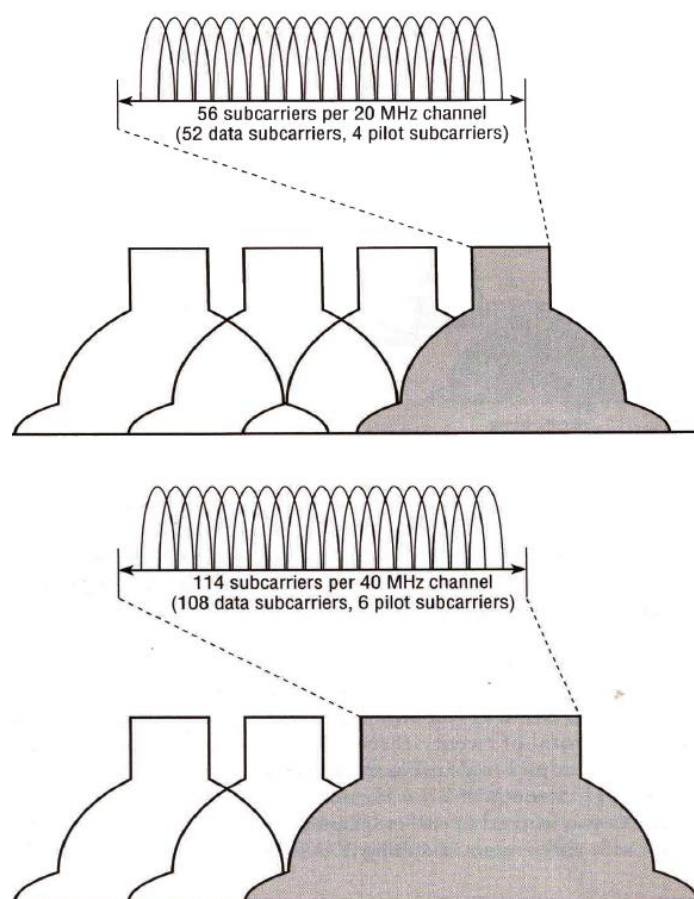
Vysílání z několika antén se superponuje ( sčítá). Při větším počtu přijímacích antén je možné určit směr, kde se nachází klient. Posunem fáze signálu u více vysílacích antén se získá v místě klienta maximum. Potom to lze docílit pro každého klienta odděleně.



Například 802.11ac – 256QAM a současně beamforming ( bez něho by se podstatně zmenšil dosah) viz. <https://www.youtube.com/watch?v=7aGu9P2tjA8>

### *Channel Bonding*

Sloučením dvou kanálů v pásmu 5GHz se získá 114 nosných. Představuje to zhruba dvojnásobnou propustnost. To lze nastavit i u základních zařízení – SISO (single in /out)



Pozn.: Vysvětlení zkratk –

