



802.11n

Cesta za rychlejším Wi-Fi

18.10.2007

Lukáš Turek

turek@ksvi.mff.cuni.cz

O čem to bude

- Předchozí standardy 802.11
- Technologie použité v 802.11n
 - MIMO
 - Channel Bonding
 - Packet Aggregation
- QoS
- Standardizační proces
- Současný stav



Standard 802.11



- Standardy pro bezdrátové lokální sítě v bezlicenčních pásmech
- Organizace IEEE
 - *Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.*
 - <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>
- Kompatibilitu kontroluje Wi-Fi Alliance
 - „Wi-Fi“ je ochranná známka
- Jako náhrada sítí LAN
 - proto označení WLAN – Wireless LAN
 - použití vně budov se nepředpokládalo
 - to je spíše česká specialita
 - Wi-Fi tedy není efektivní na point-to-point spoje

- 1997: 802.11
 - dnes označováno „802.11 legacy”
 - pásmo 2.4 GHz, 1-2 Mbit/s
 - modulace FHSS (frequency hopping) nebo DSSS
 - ve standardu bylo tolik možností volby, že výsledné produkty nebyly vzájemně kompatibilní, nerozšířilo se
 - Alvarion BreezeNet
- 1999: 802.11b
 - až 11 Mbit/s (reálná rychlost přenosu dat je cca 40%)
 - pásmo 2.4 GHz
 - v Evropě 13 kanálů, ale překrývají se
 - modulace DSSS (*Direct-sequence Spread Spectrum*)
 - široce rozšířeno ⇒ velké zarušení pásma 2.4 GHz

- 1999: 802.11a
 - pásmo 5GHz, nominální rychlost 54 Mbit/s
 - modulace OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*)
 - v ČR povoleno pouze uvnitř budov, venku jen v části pásma s rozšířením 802.11h
 - automatický výběr kanálů a regulace výkonu
 - 11 nepřekrývajících se kanálů použitelných i vně budov
 - přesto se už začínají objevovat problémy s rušením
- 2003: 802.11g
 - pásmo 2.4GHz, zpětně kompatibilní s 802.11b
 - pomocí RTS/CTS, výrazně snižuje propustnost
 - modulace OFDM převzatá z 802.11a, až 54 Mbit/s
 - potřebuje lepší kvalitu signálu než 802.11b
 - menší odolnost proti rušení

- Cíl: skoro úplný ekvivalent 100Mbit LAN
 - nutné pro přenos videa v HD rozlišení (40-50 Mbit/s)
 - síť musí podporovat QoS
 - u 802.11b/g při zatížení dosahují latence až stovek ms
 - efektivní rychlost 100Mbit/s, ne nominální
 - různá firemní rozšíření 802.11g nabízí už dnes nominální rychlost 108 Mbit/s
- Zpětná kompatibilita s 802.11abg
 - 3 režimy provozu
 - Legacy: pouze a/b/g
 - Mixed: kombinace a/b/g/n
 - Greenfield: pouze 802.11n („na zelené louce“)
- Může pracovat v pásmu 2.4 GHz i 5 GHz
 - vyšší rychlosti dosahuje v 5 GHz pásmu

Technologie

- Zrychlení je dosaženo kombinací různých metod
 - MIMO
 - Channel bonding
 - Frame aggregation
- Evoluční vylepšení, ne revoluce
 - i když to tak z marketingových materiálů může vypadat...
- Standard není volně dostupný
 - následující informace pochází z různých zdrojů na Internetu a nemusí být přesné



MIMO

- **Multiple Input, Multiple Output**
- Několik antén pro vysílání a příjem
 - nemusí být stejný počet antén pro vysílání a příjem
 - SIMO, MISO, ...
 - dnešní pre-802.11n používají obvykle 2 antény pro vysílání a 3 pro příjem (2x3)
 - datový tok se dělí mezi antény
 - antény vysílají různá data, pro každou tedy musí být samostatná RF část
 - duplikace analogových obvodů
 - vyšší cena
- Novinka v 802.11
 - používá i WiMAX a mobilní sítě 3. generace

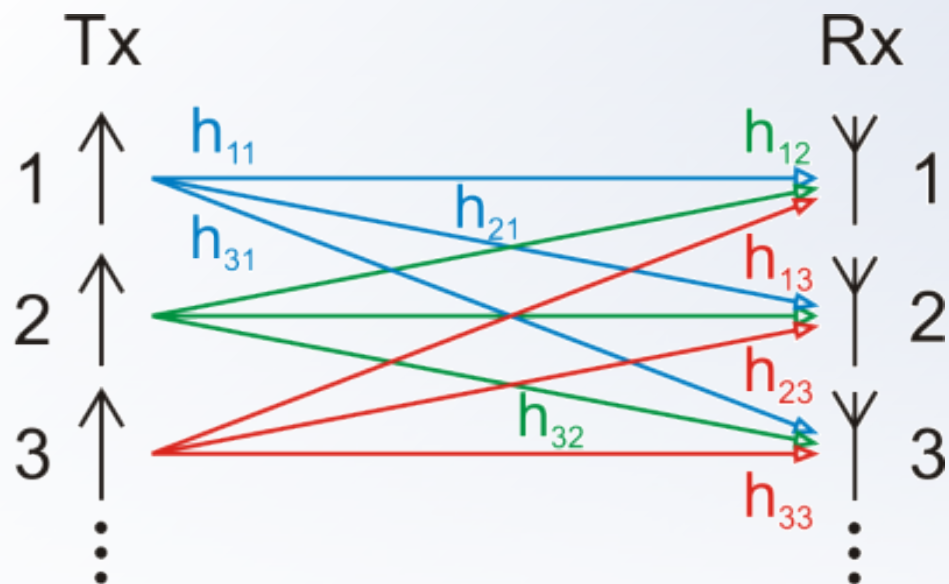


MIMO anténa



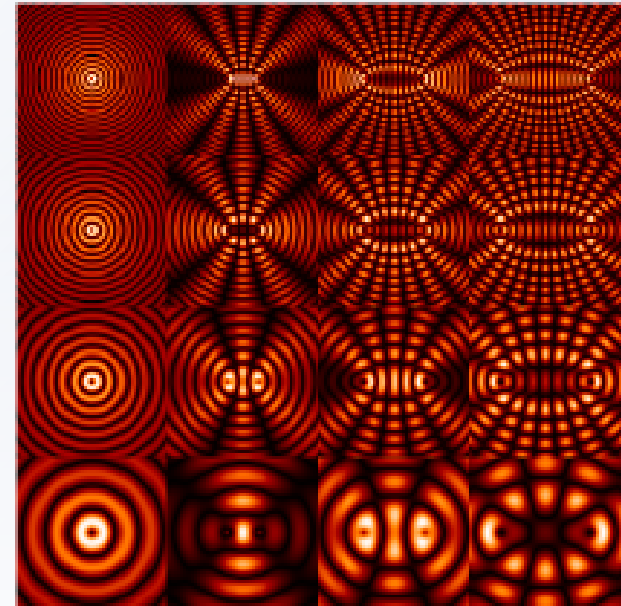
MIMO - princip

- Signál se nešíří jen přímo, může se odrážet od překážek
 - dráha signálu s odrazem je delší, dorazí tedy se zpožděním
 - a skládá se signálem šířeným přímou cestou, vznikají interference a zkreslení
 - u analogové televize takto vznikají tzv. „duchy“
 - MIMO tento problém mění ve výhodu
 - každá cesta může nést data
 - *Spatial Multiplexing* (prostorový multiplex)
 - teoreticky n -cest \Rightarrow n -krát větší propustnost
 - dekódování je výpočetně náročné



MIMO – další využití

- Smart Antenna
 - víc antén lze využít ke zjištění směru, odkud přichází signál
 - *Direction of Arrival Estimation*
 - podle posunu fáze signálu přijímaného jednotlivými anténami
- Beamforming
 - signál vysílaný z několika antén se skládá
 - konstruktivní a destruktivní interference
 - správným posunem fáze lze zesílit signál v určitém směru a v jiném naopak utlumit
 - AP může vysílat ke každému klientovi v jeho směru
 - to se s klasickou směrovou anténou udělat nedá



Channel bonding

- 802.11n umožňuje spojit sousední kanály
 - 802.11abg používá kanály o šířce 20Mhz, spojený kanál
 - 2x větší frekvenční rozsah znamená 2x vyšší kapacitu
 - Shannonův teorém
 - ve skutečnosti ještě více, protože lze využít ochranné pásmo mezi kanály
 - místo 52 nosných frekvencí se používá 108
 - použitelné jen v 5GHz pásmu
 - celé 2.4 GHz pásmo má šířku 70 Mhz
 - navíc to musí povolit regulátor

Frekvence a kanály

Channel	1	:	2412	Mhz	11g
Channel	2	:	2417	Mhz	11g
Channel	3	:	2422	Mhz	11g
Channel	4	:	2427	Mhz	11g
Channel	5	:	2432	Mhz	11g
Channel	6	:	2437	Mhz	11g
Channel	7	:	2442	Mhz	11g
Channel	8	:	2447	Mhz	11g
Channel	9	:	2452	Mhz	11g
Channel	10	:	2457	Mhz	11g
Channel	11	:	2462	Mhz	11g
Channel	12	:	2467	Mhz	11g
Channel	13	:	2472	Mhz	11g
Channel	14	:	2484	Mhz	11b

Channel	34	:	5170	Mhz	11a
Channel	36	:	5180	Mhz	11a
Channel	38	:	5190	Mhz	11a
Channel	40	:	5200	Mhz	11a
Channel	42	:	5210	Mhz	11a
Channel	44	:	5220	Mhz	11a
Channel	46	:	5230	Mhz	11a
Channel	48	:	5240	Mhz	11a
Channel	50	:	5250	Mhz	11a

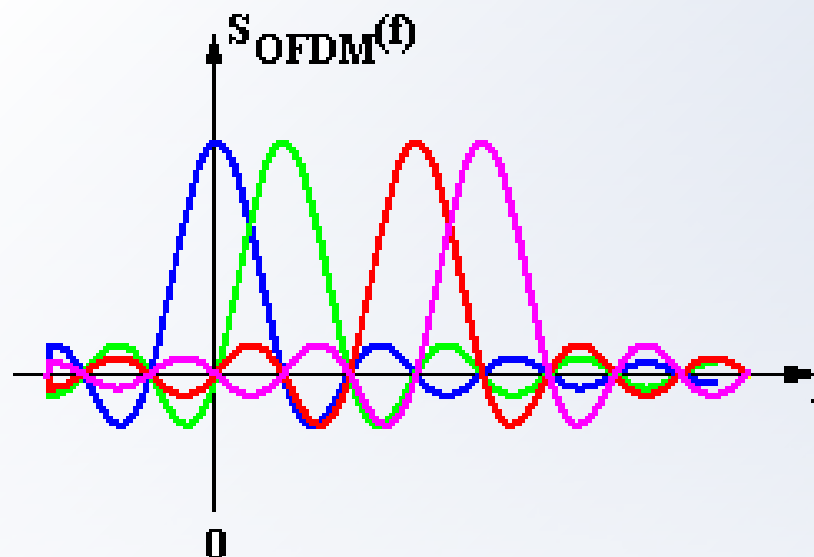
Channel	52	:	5260	Mhz	11a
Channel	56	:	5280	Mhz	11a
Channel	58	:	5290	Mhz	11a
Channel	60	:	5300	Mhz	11a
Channel	64	:	5320	Mhz	11a

Channel	100	:	5500	Mhz	11a
Channel	104	:	5520	Mhz	11a
Channel	108	:	5540	Mhz	11a
Channel	112	:	5560	Mhz	11a
Channel	116	:	5580	Mhz	11a
Channel	120	:	5600	Mhz	11a
Channel	124	:	5620	Mhz	11a
Channel	128	:	5640	Mhz	11a
Channel	132	:	5660	Mhz	11a
Channel	136	:	5680	Mhz	11a
Channel	140	:	5700	Mhz	11a

Channel	149	:	5745	Mhz	11a
Channel	152	:	5760	Mhz	11a
Channel	153	:	5765	Mhz	11a
Channel	157	:	5785	Mhz	11a
Channel	160	:	5800	Mhz	11a
Channel	161	:	5805	Mhz	11a
Channel	165	:	5825	Mhz	11a

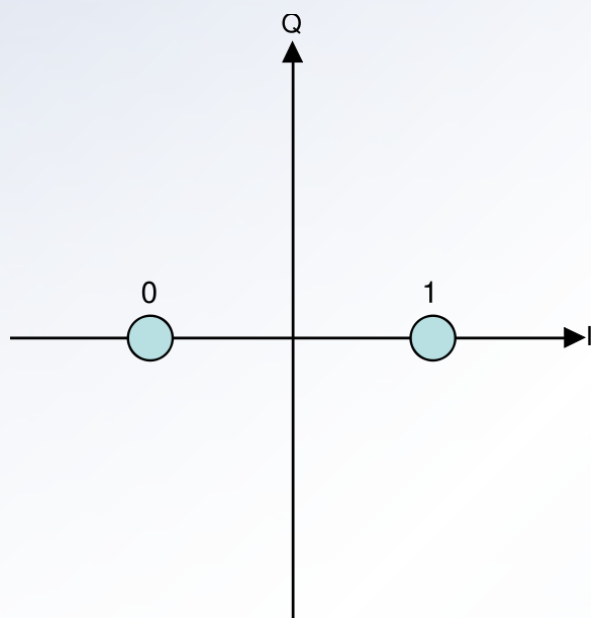
OFDM

- 802.11n používá stejně jako 802.11ag modulaci OFDM
 - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
 - frekvenční pásmo je rozděleno na části
 - každá část má vlastní nosnou frekvenci, na níž je modulována část přenášených dat
 - části se částečně překrývají
 - součet částí je větší než celek
 - 802.11ag dělí 20 MHz pásmo na 52 subpásem, ale jen 48 z nich používá pro přenos dat, 802.11n využívá všechny
 - při použití 40MHz kanálů se využívá 108 subpásem

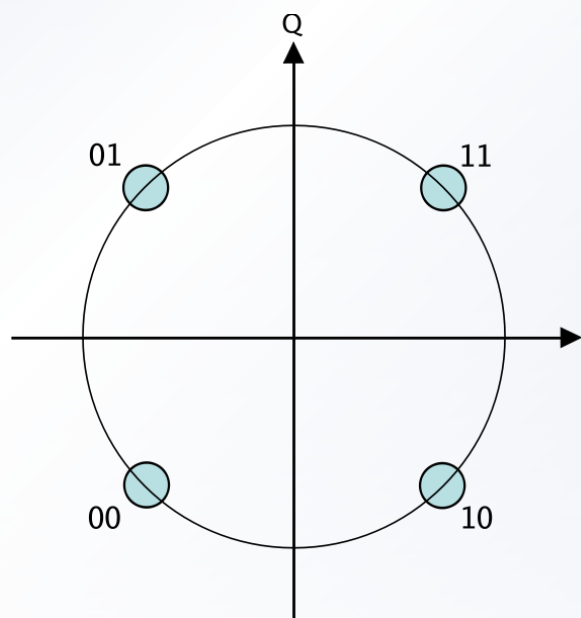


Modulace

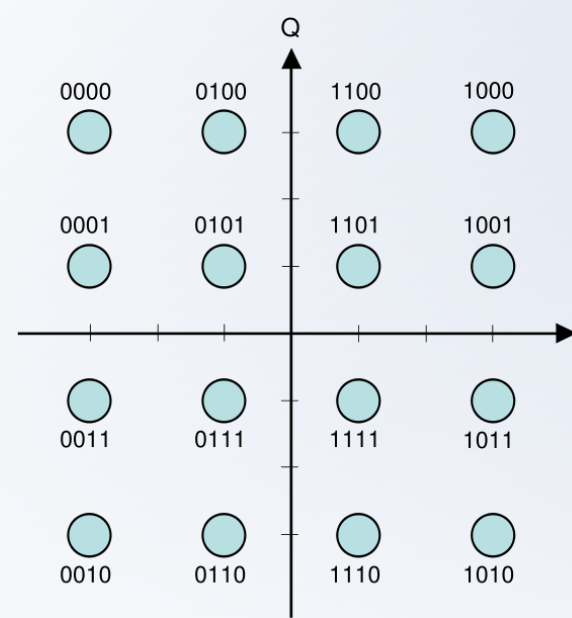
- Přenášené bity se kódují do změn fáze dvou harmonických vln, posunutých o 90° ($\pi/2$)
$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t)$$
- Různá kódování se liší počtem stavů
 - BPSK (2), QPSK (4), 16-QAM (16), 64-QAM (64)



BPSK



QPSK



16-QAM

Kódovací schémata

- V současné verzi standardu je celkem 77 kódovacích schémat, z toho jen 8 je povinných
- Kódovací schéma je dáno kombinací
 - modulace: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
 - šířka kanálu: 20 MHz nebo **40 MHz**
 - ochranný interval: 800ns nebo **400ns**
 - mezera mezi přenášenými symboly
 - poměr datových a přenášených bitů (opravné kódy FEC)
 - 1/2, 2/3, 3/4, **5/6**
 - počet datových proudů: 1, **2**, **3**, **4**
 - odpovídá počtu vysílacích antén
- Tučně vyznačené volby jsou novinka v 802.11n
- Stanice si navzájem doporučují schéma pro další rámec

Přenosová rychlost

- Je dána kódovacím schématem
 - počet nosných frekvencí
 - 52 pro 20 MHz kanály nebo 108 pro 40 MHz kanály
 - počet bitů kódovaný jedním symbolem
 - dvojkový logaritmus počtu stavů
 - BPSK: 1, QPSK: 2, 16-QAM: 4, 64-QAM: 6
 - podíl režijních a datových bitů
- Součin je počet najednou přenášených bitů
- Výsledek se dělí délkou symbolu
 - vždy 3,2 μs, ale mezi symboly je ochranný interval
 - 800 nebo 400 ns ⇒ celková délka 4 nebo 3,6 μs
 - Bity se dělí mikrosekundami => jednotka výsledku je Mbit/s

$$rate = (carriers \cdot coded_bits \cdot code_rate) / (3,2 + guard)$$

Přenosová rychlost - tabulka

Modulace	Bitů na symbol	Poměr kódování	Počet nosných	Rychlost (800ns)	Rychlost (400ns)
BPSK	1	1/2	108	13,5	15
QPSK	2	1/2	108	27	30
QPSK	2	3/4	108	40,5	45
16-QAM	4	1/2	108	54	60
16-QAM	4	3/4	108	81	90
64-QAM	6	2/3	108	108	120
64-QAM	6	3/4	108	121,5	135
64-QAM	6	5/6	108	135	150

- Pouze pro 40 Mhz kanály
- Tato rychlost se ještě násobí počtem datových proudů
 - maximum je 4 pro 4 antény
 - nejvyšší nominální rychlost je tedy **600 Mbit/s**

Snížení režie

- U 802.11abg spotřebuje režie přes 50% kapacity
 - hlavičky rámců
 - čekání na potvrzení
 - povinné mezery mezi rámci (DIFS)
 - náhodné čekání při CSMA/CA
- 802.11n přidává možnost spojování rámců
 - *Aggregate Exchange Sequences*
 - odpadá čekání mezi rámci
 - potvrzuje se až celá sekvence rámců
 - režie se snižuje na cca 25%

QoS

- 802.11 používá nedeterministickou přístupovou metodu
 - CSMA/CA, volitelně DCF (RTS/CTS)
 - funguje dobře jen při malém zatížení, při vyšší zátěži roste latence až ke stovkám milisekund
- To je problém pro real-time aplikace
 - VoIP, streaming videa, on-line hry, ...
 - vyžadují zaručenou kapacitu a malé konstantní zpoždění
- Aby se 802.11n přiblížilo LAN, musí podporovat QoS
 - přístupová metoda PCF (přenosy řízené AP) nestačí
 - omezená podpora v zařízeních
 - nepodporuje třídy provozu podle priority
 - vznikl nový standard 802.11e

802.11e

- Zavádí třídy provozu (*Traffic Classes*)
- K DCF a PCF přibyla HCF (*Hybrid Coordination Function*)
- Dvě přístupové metody
 - EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*)
 - stanice, která chce vysílat data s vyšší prioritou, čeká kratší dobu, než začne vysílat
 - doba, po jakou může stanice vysílat je omezena
 - HCCA (*HCF Controlled Channel Access*)
 - stanice oznamují svoje požadavky na přenosovou kapacitu
 - AP může iniciovat CAP (*Controlled Access Phase*), kdy řídí všechny přenosy
- Navíc možno vypnout potvrzování a přeposílání rámců
- Certifikace Wi-Fi Multimedia (WMM)
 - HCCA není povinné

- 2004: vznikla pracovní skupina pro 802.11n
- 2005: vzniká Enhanced Wireless Consortium
 - koalice 27 firem pro vývoj 802.11n
 - Atheros, Broadcom, Cisco, Intel, Marvell a další
 - hlavně firmy kolem PC
 - chybí např. Motorola nebo Nokia
 - <http://www.enhancedwirelessconsortium.org>
- 2006: Draft 1.0 nebyl schválen
 - pro hlasovalo jen 46% z potřebných 75%
 - bylo přijato 12 000 připomínek
- 2007: schválen Draft 2.0
 - Wi-Fi aliance začíná s certifikací
- Finální standard očekáván v březnu 2009



- Organizace CSIRO tvrdí, že 802.11n porušuje její patent
 - *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*
 - Australská státní výzkumná organizace
 - Americký patent číslo 5,487,069
 - zabývá se bezdrátovým přenosem dat v prostředí s odrazy signálu
 - poměrně konkrétně popisuje vysílač a přijímač, modulaci, zpracování signálu, ...
- Podle CSIRO porušuje patent i 802.11ag
 - v současnosti probíhá soudní spor se společností Buffalo
- IEEE neodmítá patentované technologie jako např. IETF
 - snaží se s držitelem dohodnout na podmínkách použití
 - ne nutně zadarmo, ale vyžaduje dohodu a záruku
 - CSIRO dohodu odmítlo, současná situace je nejistá



Současný stav

- Na trhu je spousta zařízení s podporou 802.11n draft
 - Výrobci slibují, že dnes koupené zařízení bude možno upgradovat na finální 802.11n novým firmware
- Hardware s podporou 802.11n je přibližně 2x dražší
- Většina používá pro vysílání jen 2 antény
 - nominální přenosová rychlost 300 Mbit/s
 - efektivní přenosová rychlost 120-150 Mbit/s
 - se vzdáleností rychle klesá
- Nové notebooky obvykle mají podporu 802.11n

