



Telekomunikační systémy

Přístupové systémy (WiFi, WiMAX)

2010/2011

Martin Šrotýř

srotyr@klfree.net

Agenda

Obsah:

Klasifikace bezdrátových systémů

WLAN - WiFi

nosné standardy

architektura

doplňkové standardy

praktické informace

WMAN - WiMAX

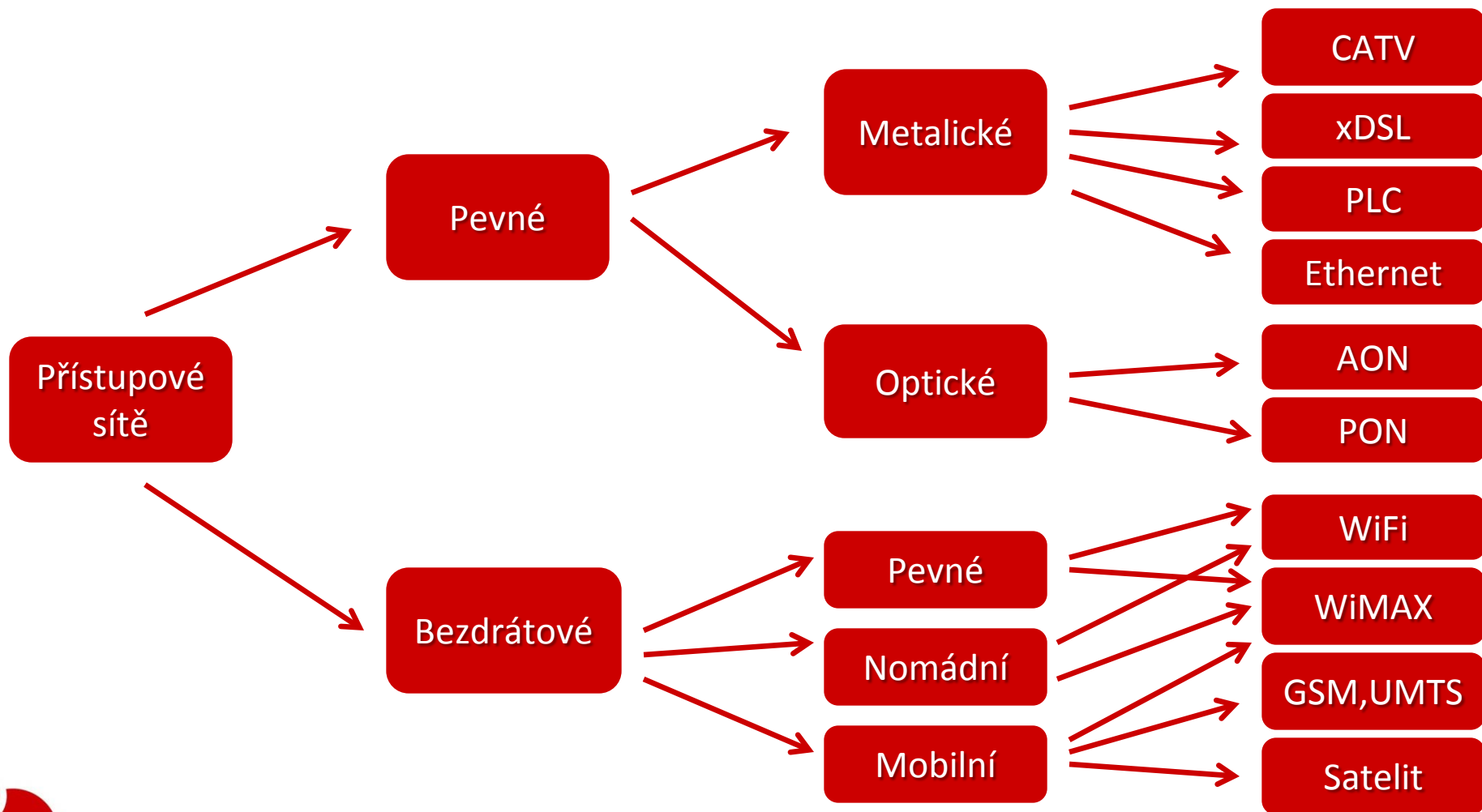
802.16 d / e

Srovnání 802.11 s 802.16

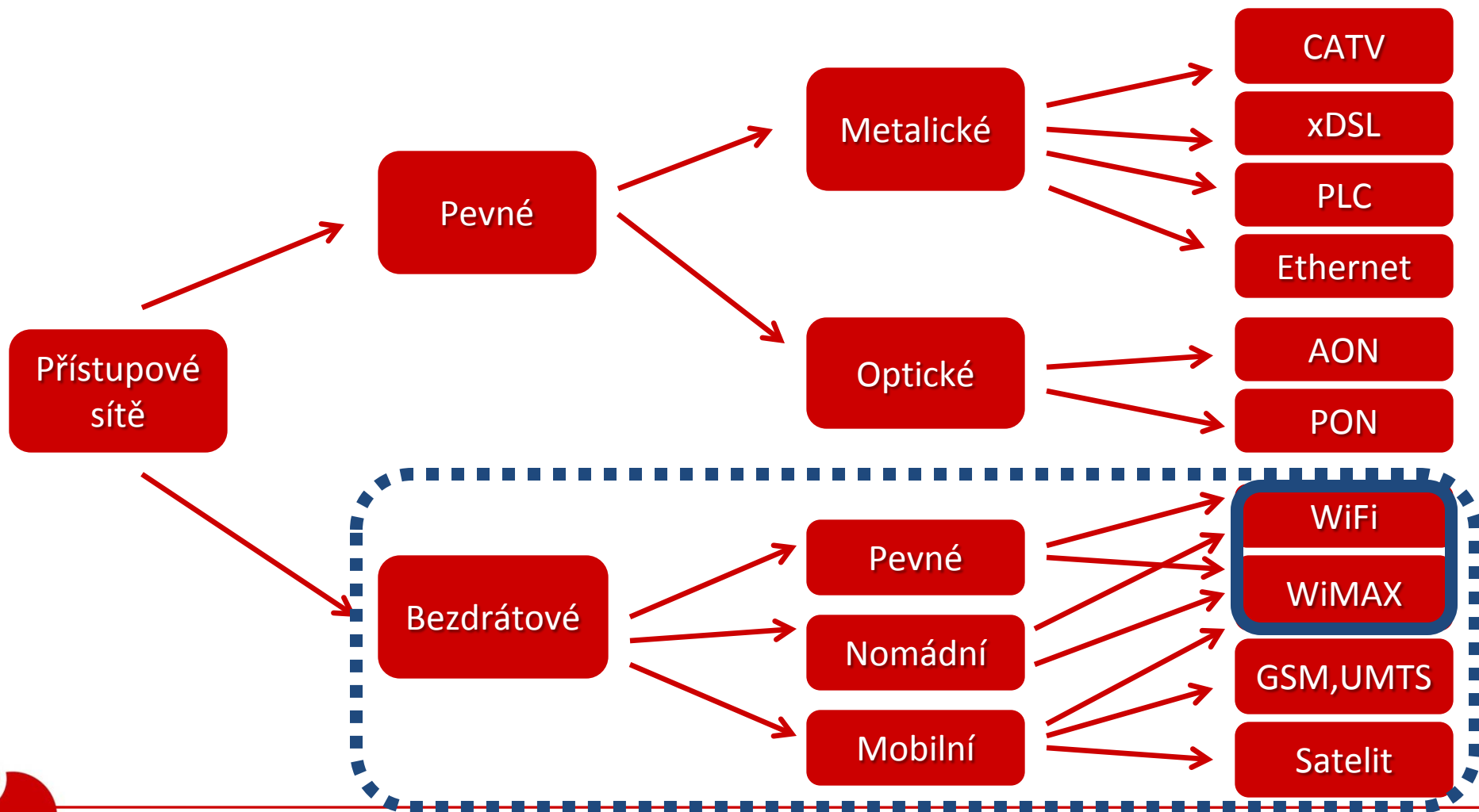
Závěr

Klasifikace bezdrátových systémů

Přístupové systémy



Přístupové systémy



Klasifikace bezdrátových systémů

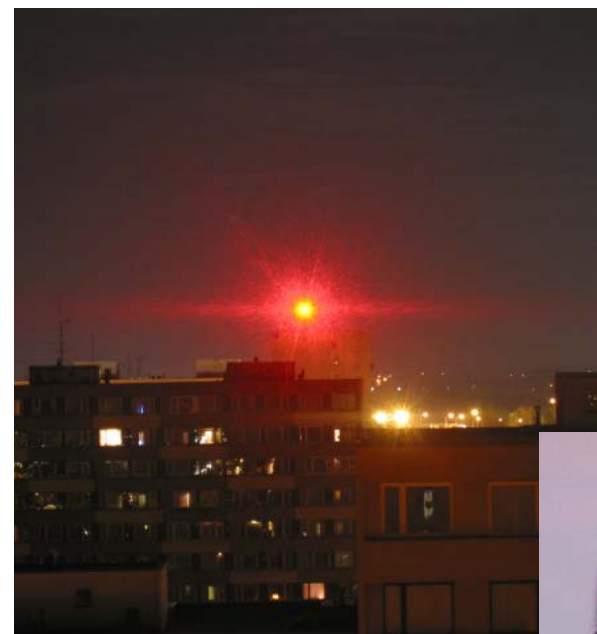
dle typu signálu:

- **Radiové sítě** – nejčastější typ, dosah až desítky km, různá přenosová rychlost, u nejvyšších typů až několik Gbit/s, licenční vs. bezlicenční.
- **Optické bezdrátové sítě** – dosah až několik km, přímá viditelnost, vysoká přenosová rychlost – až několik Gbit/s.
- **Infračervené sítě** – malý dosah, přímá viditelnost, větší bezpečnost, kapacita přenosu omezena pouze výkonem vysílače, infračervené sítě nepodléhají regulaci.

Optický spoj (TereScope 5000)



LED spoj (RONJA)



Radiový spoj



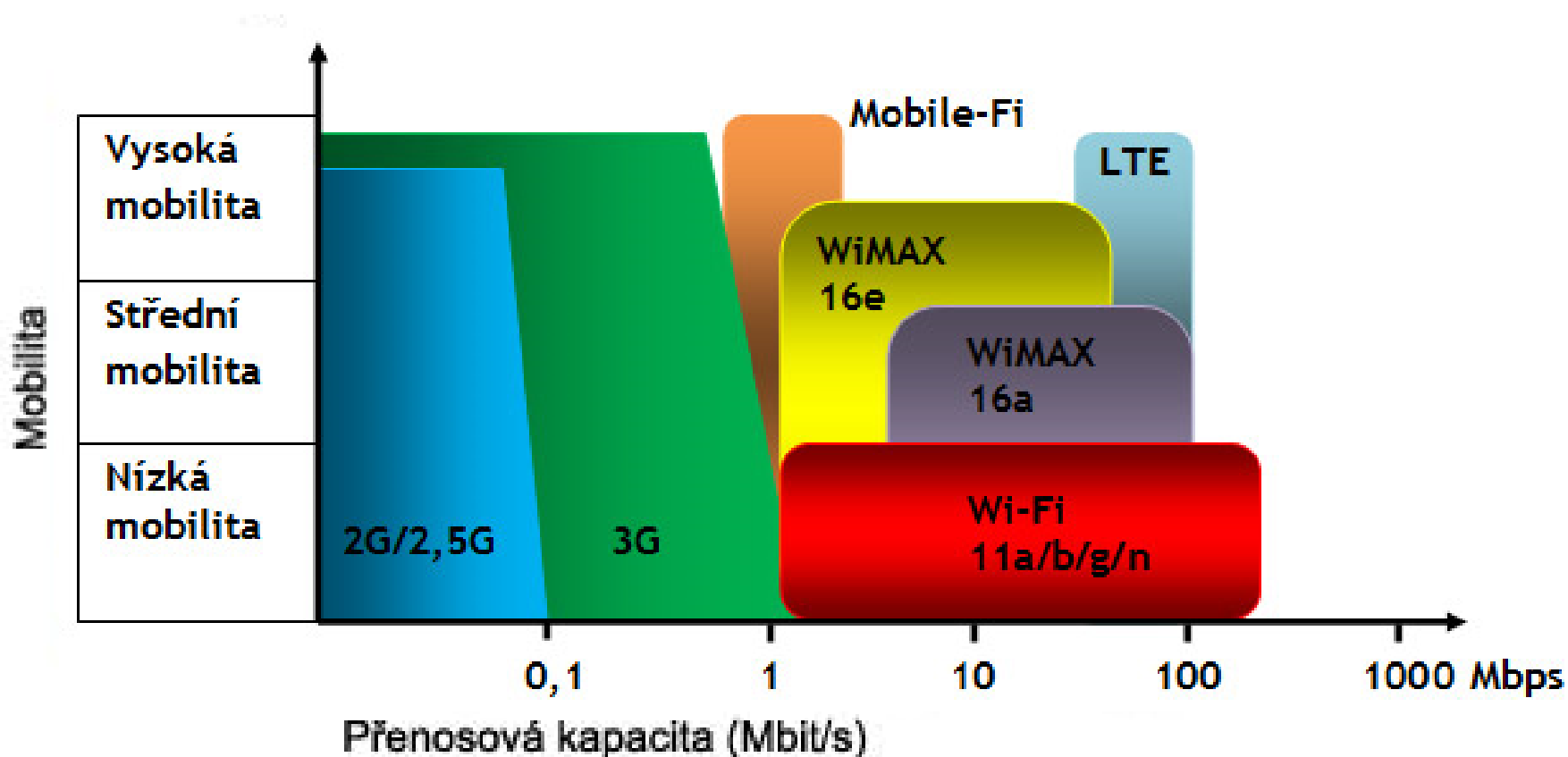
Klasifikace bezdrátových systémů

dle podpory mobility objektů:

- **Stacionární síť** – síť pro komunikaci v klidovém stavu bez přesunu objektů.
- **Nomádní (kočovní) síť** – síť pro komunikaci objektů, které jsou v klidu (nebo ve stavu blízcímu se klidu), avšak objekt se mezi klidovými stavy pohybuje. (Na čerpacích stanicích, světelně řízených křižovatkách, při parkování, atd.).
- **Mobilní síť** – síť s plnou podporou mobilních komunikujících objektů.

Klasifikace bezdrátových systémů

dle podpory mobility objektů:



Klasifikace bezdrátových systémů

dle oblasti použití:

- **Rozlehlé síť (WAN)**
(Wide Area Network)
- **Metropolitní síť (MAN)**
(Metropolitan Area Network)
- **Lokální síť (LAN)**
(Local Area Network)
- **Personální síť (PAN)**
(Personal Area Network)



WiMAX
(802.16)



WiFi (802.11)



Bluetooth
(802.15.1)

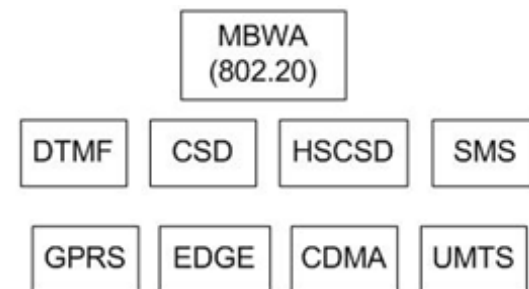
UWB
(802.15.3)

ZigBee
(802.15.4)

Klasifikace bezdrátových systémů

dle oblasti použití:

- **Rozlehlé síť (WAN)**
(Wide Area Network)
- **Metropolitní síť (MAN)**
(Metropolitan Area Network)
- **Lokální síť (LAN)**
(Local Area Network)
- **Personální síť (PAN)**
(Personal Area Network)



WiMAX
(802.16)



WiFi (802.11)



Bluetooth
(802.15.1)

UWB
(802.15.3)

ZigBee
(802.15.4)

WLAN

Wireless Local Area Network

WiFi – IEEE 802.11

Wireless Fidelity – „Bezdrátová věrnost“

- První verze přijata v r. 1997
- Bezlicenční pásma*, výkonové omezení
 - 2,4 GHz – délka vlny 12,5 cm, pohlcováno vodou z 95%, odrazy
 - 5 GHz – délka vlny 6 cm, vyšší nároky na LOS, odrazy od překážek
- Dosah až několik kilometrů (směrové antény, přímá viditelnost,...)
- Konfigurace sítí – ad-hoc (p2p), infrastrukturní
- Nosné standardy 802.11 a / b / g / n / p
- Různé doplňky 802.11 e / i / r / ...

IEEE 802.11 – přehled doplňků

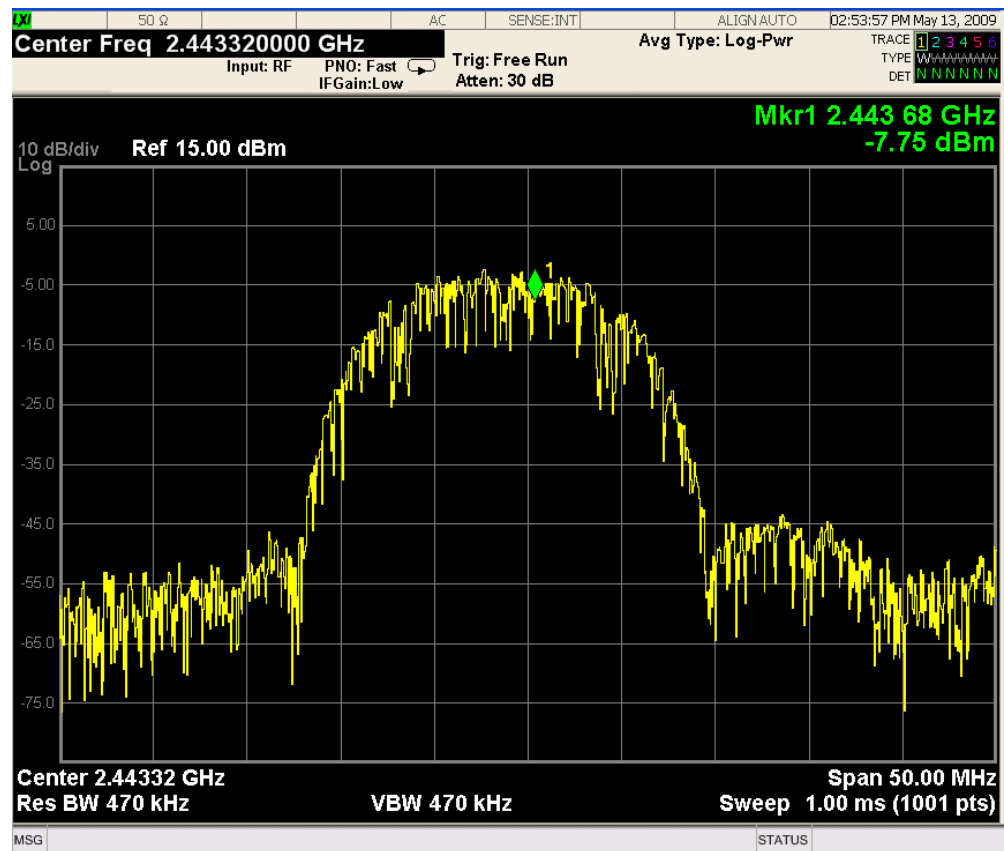
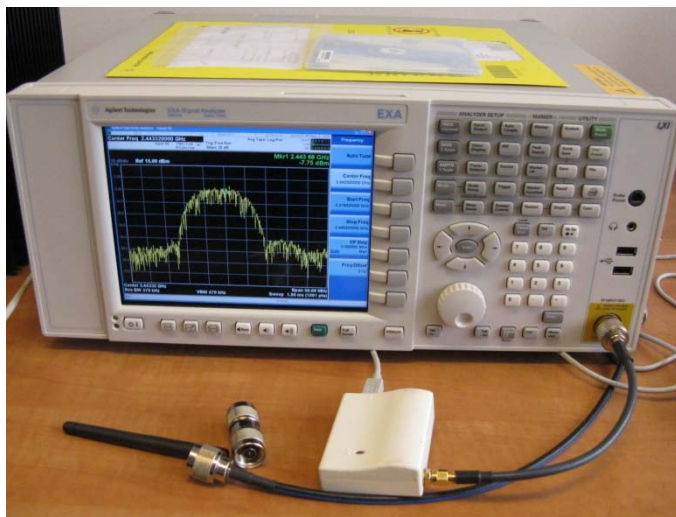
Doplňěk	Rok schválení	Popis
802.11a	1999	Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 5 GHz.
802.11b	1999	Rychlost až 11 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.
802.11d	2001	Pro země, kde pásmo 2,4 GHz není přístupné.
802.11c	2003	Mosty (Bridge) mezi přístupovými body.
802.11f	2003	Spolupráce přístupových bodů od různých výrobců.
802.11g	2003	Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.
802.11h	2003	Dynamický výběr kanálu a regulace výkonu.
802.11i	2004	Zabezpečovací a ověřovací mechanismy na MAC vrstvě.
802.11j	2004	Využití pásma 4,9 a 5 GHz v Japonsku.
802.11e	2005	Podpora pro QoS na MAC vrstvě.
802.11m	2006	Revize standardů.
802.11k	2008	Měření rádiových prostředků.
802.11r	2008	Rychlý roaming.
802.11w	2009	Podpora integrity, autenticity, utajení a ochrany dat.
802.11n	11.9.2009	Vysoká propustnost.
802.11p	15.7.2010	Bezdrátový přístup pro mobilní zařízení.
802.11v	9.2.2011	Management bezdrátových zařízení.
802.11u	25.2.2011	Spolupráce s externími sítěmi.
802.11s	2011?	Multi-hopping.

IEEE 802.11b

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz), max. výkon 100 mW e.i.r.p
- 13 kanálů s odstupem 5 MHz, kanál má šířku cca. 22 MHz
- Max. rychlost 11 Mbit (11, 5,5, 2, 1 Mbit/s)
- Ad-hoc (P2P), Infrastructure
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- 30 – 40 % kapacity tvoří režie

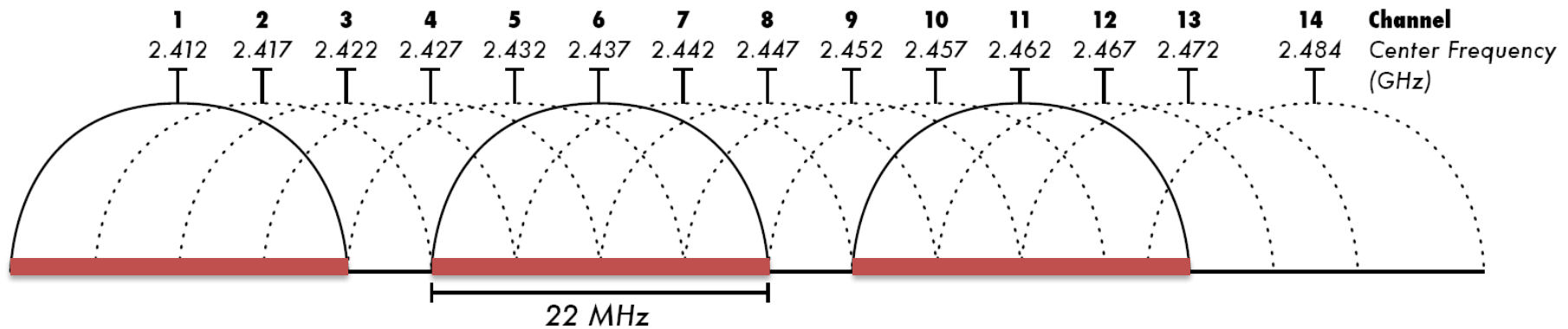
IEEE 802.11b

- šířka kanálu 802.11b



IEEE 802.11b/g

- Schematické znázornění rozložení kanálů 802.11b/g



2,4 GHz kanály

Kanál	Frekvence (MHz)	Severní Amerika	Japonsko	Většina světa
1	2412	Ano	Ano	Ano
2	2417	Ano	Ano	Ano
3	2422	Ano	Ano	Ano
4	2427	Ano	Ano	Ano
5	2432	Ano	Ano	Ano
6	2437	Ano	Ano	Ano
7	2442	Ano	Ano	Ano
8	2447	Ano	Ano	Ano
9	2452	Ano	Ano	Ano
10	2457	Ano	Ano	Ano
11	2462	Ano	Ano	Ano
12	2467	Ne (USA - malý výkon)	Ano	Ano
13	2472	Ne (USA- malý výkon)	Ano	Ano
14	2484	Ne	Pouze 802.11b	Ne

IEEE 802.11a

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání 1.9.2005
- 5,470 – 5,725 GHz (255 MHz), max. výkon 1 W střední e.i.r.p
- 11 nepřekrývajících se kanálů s odstupem 20 MHz
- Max. rychlost 54 Mbit (54,48,36,24,18,12,9,6 Mbit/s)
- Ad-hoc (P2P), Infrastructure
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM

5 GHz kanály

ROODOR - ROODOR

kanál	frekvence (MHz)	USA	Evropa	Japonsko	Singapur	Čína	Izrael	Korea	Turecko
		40/20 MHz	40/20 MHz	40/20 MHz	10 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
183	4915	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
184	4920	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
185	4925	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
187	4935	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
188	4940	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
189	4945	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
192	4960	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
196	4980	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
7	5035	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
8	5040	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
9	5045	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
11	5055	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
12	5060	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
16	5080	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
34	5170	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
36	5180	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano
38	5190	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
40	5200	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano
42	5210	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
44	5220	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano
46	5230	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
48	5240	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
52	5260	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
56	5280	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
60	5300	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
64	5320	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
100	5500	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
104	5520	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
108	5540	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
112	5560	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
116	5580	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
120	5600	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
124	5620	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
128	5640	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne
132	5660	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
136	5680	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
140	5700	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
149	5745	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano
153	5765	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano
157	5785	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano
161	5805	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano
165	5825	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano

IEEE 802.11g

- Schváleno v r. 2003, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz), max. výkon 100 mW e.i.r.p
- 13 kanálů s odstupem 5 MHz, kanál má šířku cca. 22 MHz
- OFDM a DSSS (pro kompatibilitu)
- Max. rychlost 54 Mbit
 - OFDM: 16-QAM (54, 48, 36, 24 Mbit/s)
 - QPSK (18, 12 Mbit/s)
 - BPSK (9, 6 Mbit/s)
 - DSSS: (11, 5,5, 2, 1 Mbit/s)

IEEE 802.11n

- Schváleno 11.9.2009
- 2,4 GHz, 5 GHz s kanály 20 a 40 MHz
- Kompatibilita s 802.11a/b/g
- MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- Dostupná max. rychlost 300 Mbit (Draft 2.0)
- Teoretická max. rychlost až 600 Mbit
(4 nezávislé kanály, 64-QAM 5/6, 40 MHz na kanál, krátký bezpečnostní interval)

IEEE 802.11n

MCS Index	Spatial Streams	Modulation Type	Coding Rate	Data Rate Mb/s			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800ns GI	400ns GI	800ns GI	400ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00
...	3	...	...	...	...	...	...
23	3	64-QAM	5/6	195.00	216.60	405.00	450.00
...	4	...	...	...	...	...	...
31	4	64-QAM	5/6	260.00	288.90	540.00	600.00

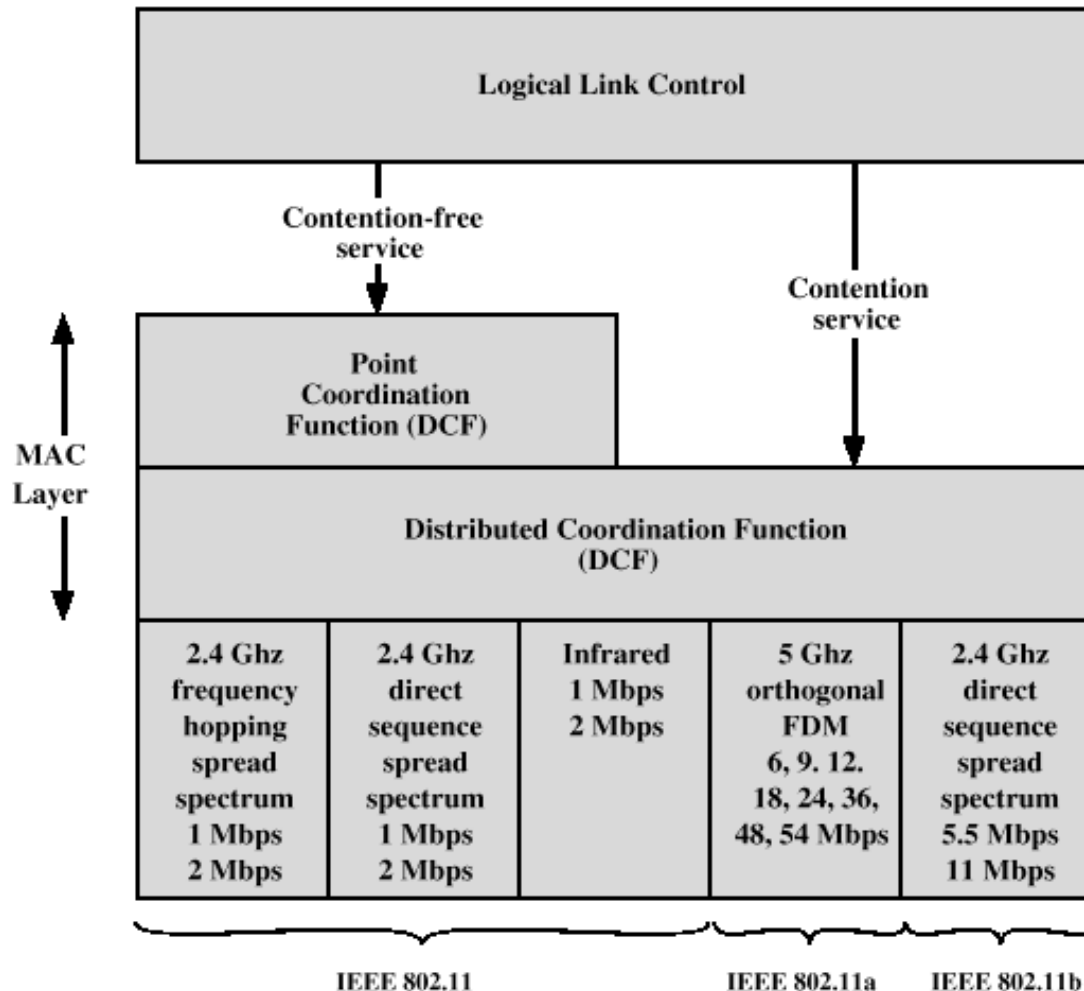
IEEE 802.11n – 40 MHz v 2,4 GHz

Main Channel	20 MHz	40 MHz Lower		40 MHz Upper			
	blocks	Aux.	center	blocks	Aux.	center	blocks
1	1-3	5	3	1-7	Not available		
2	1-4	6	4	1-8	Not available		
3	1-5	7	5	1-9	Not available		
4	2-6	8	6	2-10	Not available		
5	3-7	9	7	3-11	1	3	1-7
6	4-8	10	8	4-12	2	4	1-8
7	5-9	11	9	5-13	3	5	1-9
8	6-10	12	10	6-13	4	6	2-10
9	7-11	13	11	7-13	5	7	3-11
10	8-12	Not available			6	8	4-12
11	9-13	Not available			7	9	5-13
12	10-13	Not available			8	10	6-13
13	11-13	Not available			9	11	7-13

IEEE 802.11p

- Schválení v 15.7.2010
- WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment)
- Pro silniční bezpečnostní aplikace a komunikaci mezi vozidly navzájem a mezi vozidly a infrastrukturou
- Licencované pásmo 5,9 GHz
- Až pro rychlosti do 200 km/h
- Max. rychlost 27 Mbit/s
- Dosah v řádu km
- Kooperace s CALM, DSRC

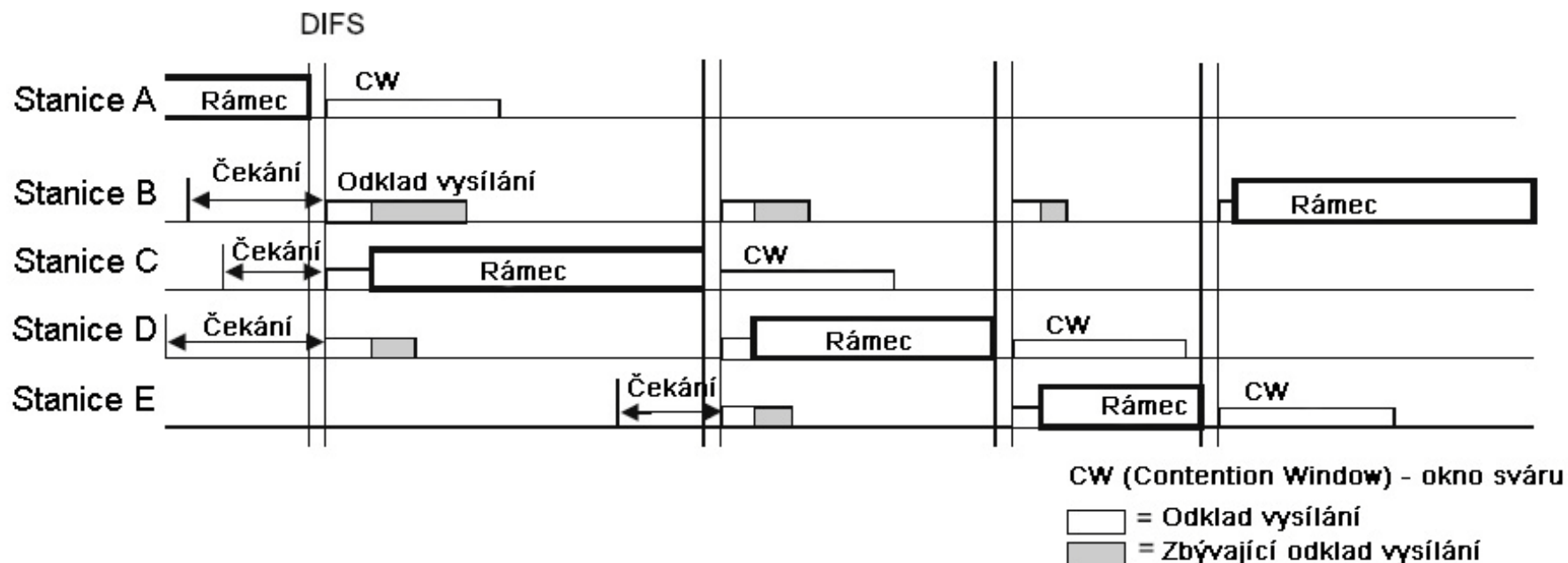
IEEE 802.11 – architektura



IEEE 802.11 – MAC vrstva – DCF

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

RTC/CTS (Request To Send / Clear To Send)



IEEE 802.11 – MAC vrstva – PCF

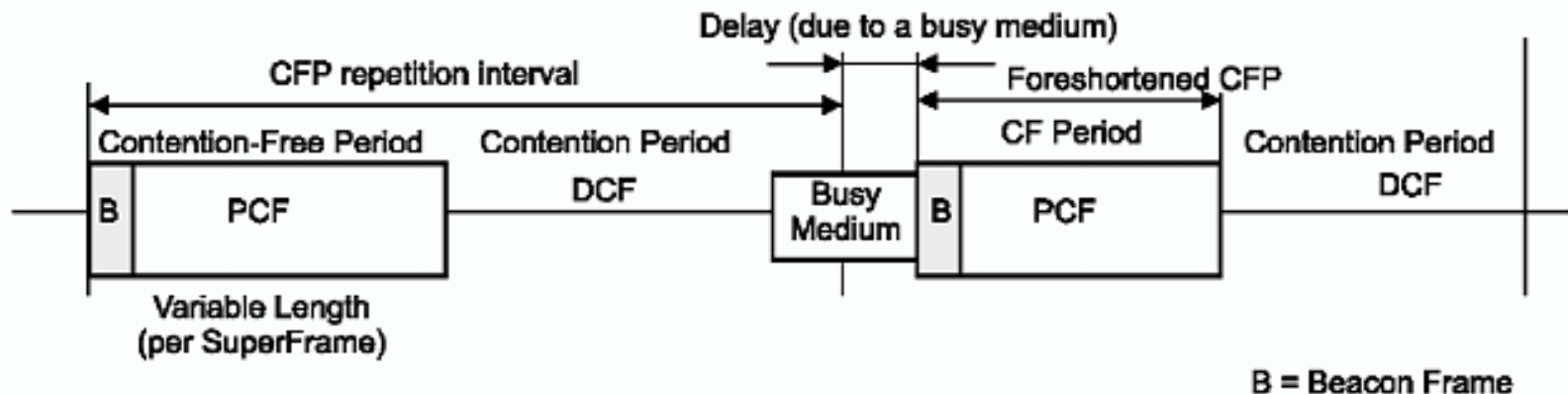
Zřídka implementováno, malá podpora, není zde volba priorit

Vysílací stanice vysílají „beacon“ rámce v pevně daných intervalech (0,1s)

CP (Contention Period) – DCF přístup

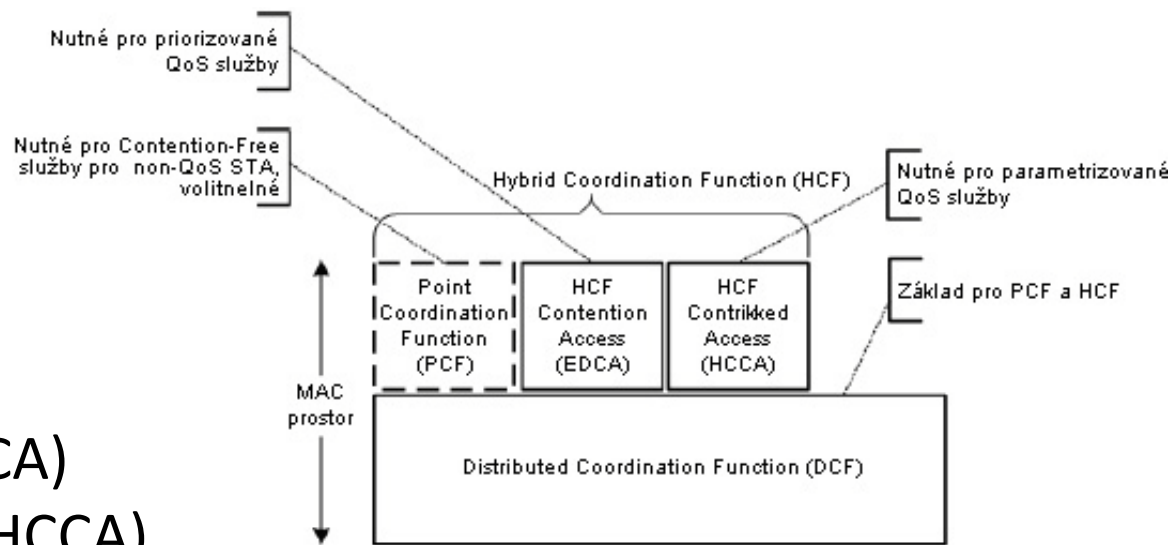
CFP (Contention Free Period) – PCF přístup

Je přímo určeno který klient má právo vysílat, ostatní mají vysílat zakázáno



IEEE 802.11e – Wireless QoS

- Schválení v r. 2005
- **Přidává podporu QoS**
- Zavádí třídy provozu
- 3 fázová certifikace
 - WMM – 2004 (EDCA)
 - WMM-PS – 2005 (EDCA)
 - WMM-SA – ? (EDCA, HCCA)
- Stále založeno na kolizním přístupu



IEEE 802.11e – Wireless QoS

EDCA

Priority dle 802.1d
4 kategorie provozu
8 tříd priorit

HCCA

Obdobné PCF

Dva úseky – CAP (CFP) a CP

CAP (Controlled Access Phase) – iniciován kdykoliv přístupovým bodem

Přednosti dle priorit

Řazení do front dle priorit + předávání informací o frontách

kategorie	charakteristika přenosu	AIFS	CW	celková doba čekání
hlas (7,6)	VoIP s nejvyšší kvalitou – minimální zpoždění	2	0 – 3	2 – 5
video (5,4)	video toky (běžné i vysoké rozlišení)	2	0 – 7	2 – 9
best effort (0,3)	interaktivní aplikace necitlivé na zpoždění	3	0 – 15	3 – 18
pozadí (2,1)	datové soubory	7	0 – 15	7 – 22

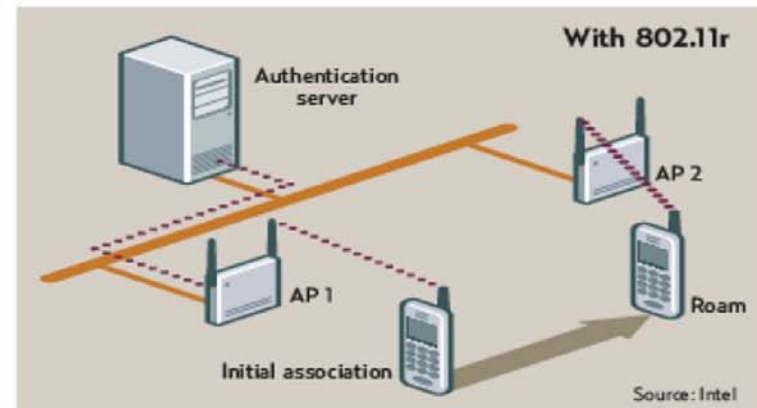
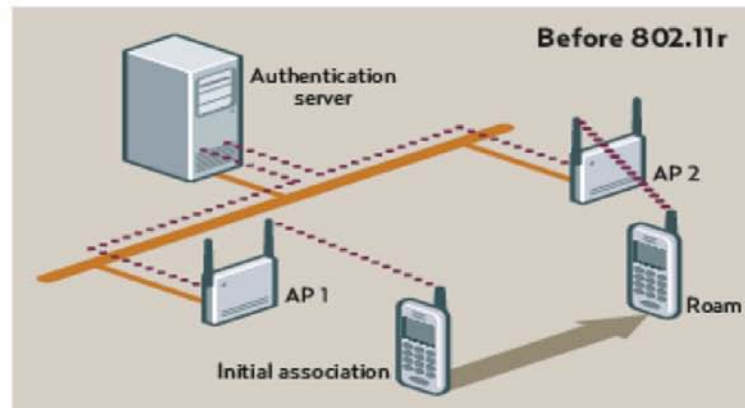
IEEE 802.11i – WPA2

Wireless Protected Access

- Schválen v 06/2004
- Podstatně vylepšuje bezpečnost (Oproti původnímu WEP)
- Používá blokovou šifru AES
- Implementovány protokoly
 - CCMP** – poskytuje utajení, integritu a autentizaci
 - TKIP** – zajišťuje kombinování klíčů pro pakety, kontrolu integrity zprávy a mechanismu překlíčování

IEEE 802.11r

- Rychlý roaming
- Schválen v září 2008
- Spolupráce s IEEE 802.11i
- Víceúrovňová hierarchie, WLAN controller
- Zajištění předání spojení včetně šifrování pomocí WPA2 v řádu ms
- vs. specializovaný software



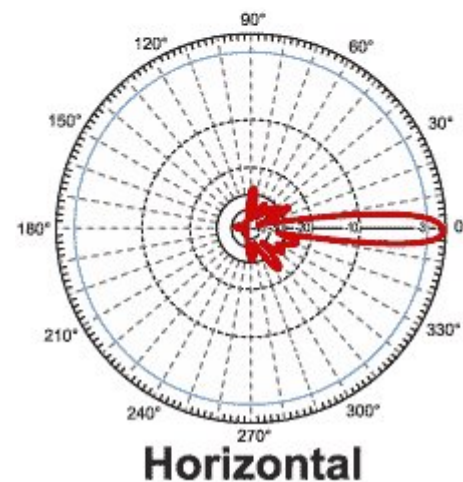
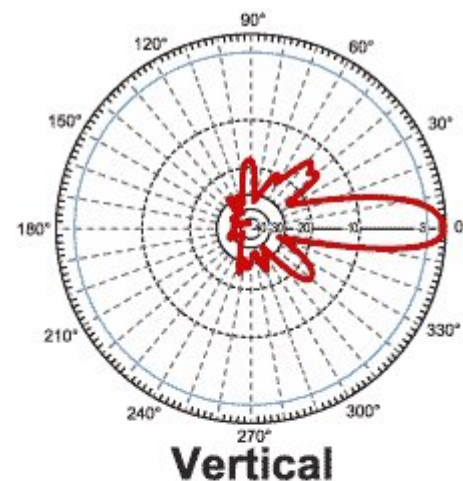
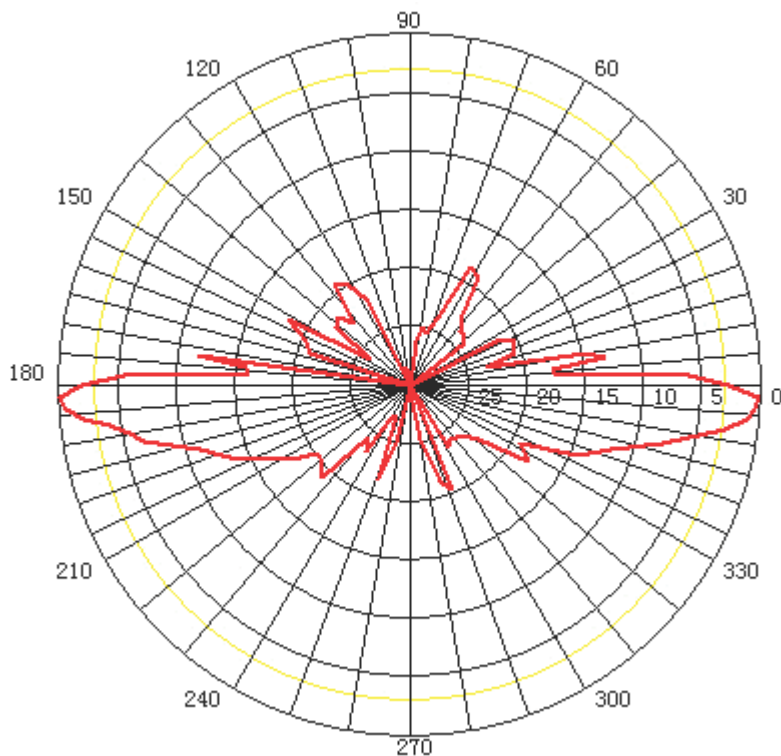
IEEE 802.11 – zařízení

- **Antény** – všesměrové, sektorové, směrové
- Frekvence, zisk, polarizace, vyzařovací úhel



IEEE 802.11 – zařízení

- **Antény** – všesměrové, sektorové, směrové
- Frekvence, zisk, polarizace, vyzařovací úhel



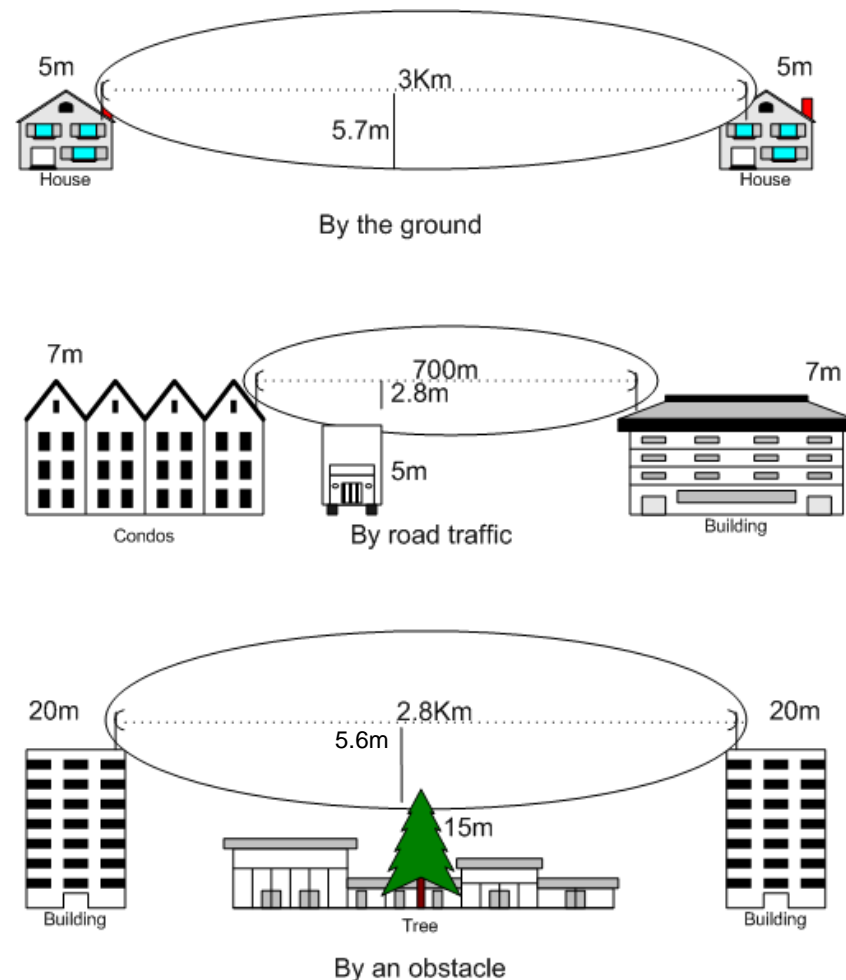
Fresnelova zóna

- Nutná podmínka kvality spoje
- Tvar elipsoidu
 - strmý nárůst průměru
- 60% fresnelovy zóny

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}}, [\text{m}][\text{km}][\text{GHz}]$$

Vzdálenost [km]	0,2	0,5	1	2	3	5
Poloměr [m]	2,5	4	5,6	7,9	9,7	12,5

www.afar.net/fresnel-zone-calculator



IEEE 802.11 – zařízení

- **Aktivní prvky**
- Rozhraní (USB, Ethernet, miniPCI, PCI, ExpressCard, ...)
- Podporované standardy, módy, ...



IEEE 802.11 – zařízení

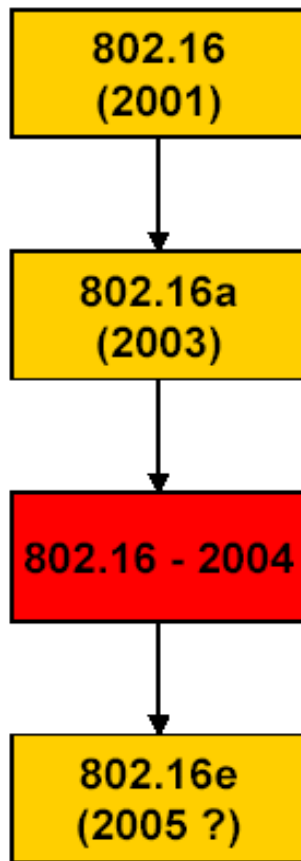
- VF kabeláž
- Útlum
 - H155/RF240 – 0,5 dB/m
 - H1000 – 0,2 dB/m
- Bleskojistky (1-3 dB)
- Konektory (1 dB)
- Vysílací limit:
+20 dBm*



WMAN

Wireless Metropolitan Area Network

WiMAX – IEEE 802.16



Pracovní skupina založena v r. 1999

- 10 až 66 GHz, pouze přímá viditelnost (LOS)
- Přenosová rychlost až 134 Mbit/s
- 2 až 11 GHz, NLOS
- Přenosová rychlost až 75 Mbit/s
- Revize 802.16 (3,5 GHz FDD, TDD)
- Sjednocení předchozích 802.16 standardů
- Mobilní verze WiMAXu
- Podporující zařízení do rychlosti 150 km/h

WiMAX – IEEE 802.16

802.16a

- 2 až 11 GHz licencované
- NLOS
- Podpora MESH architektury

802.16b

- Nelicencovaná pásma
- Přináší QoS pro real-time aplikace

802.16c

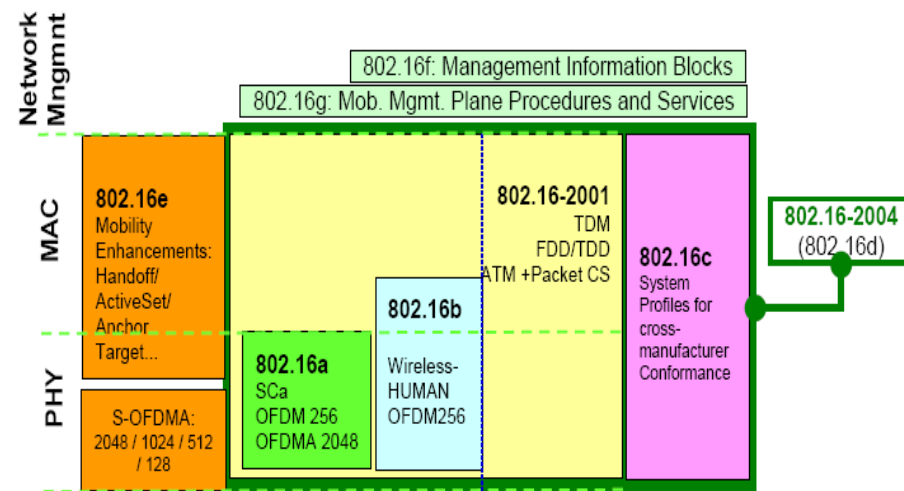
- 10 až 66 GHz

802.16d

- Revize 802.16a a sjednocení standardů

802.16e

- Mobilní doplněk
- Vysokorychlostní předávání (handover) spojení zařízení



WiMAX – IEEE 802.16

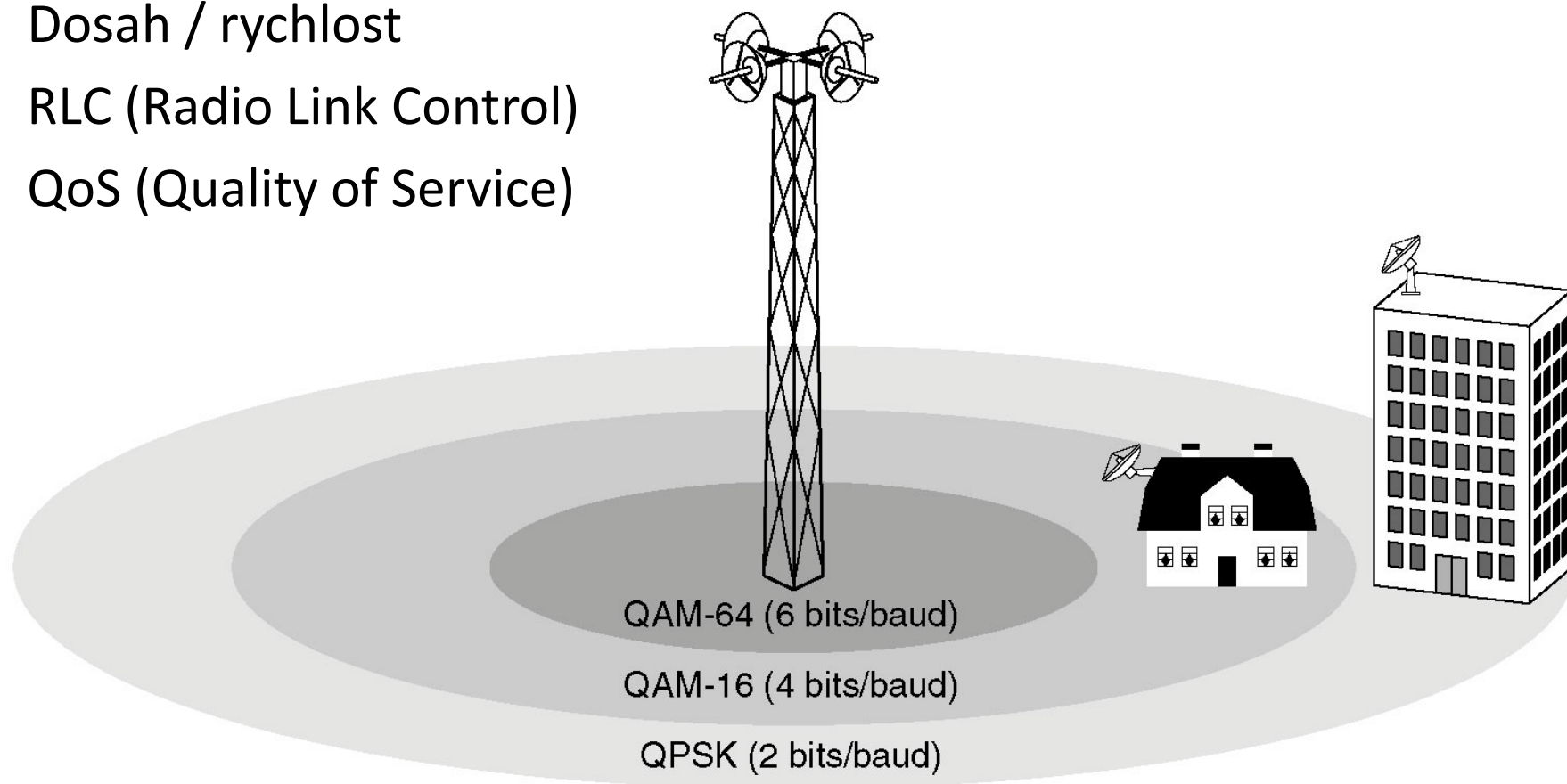
	802.16d	802.16e
Schváleno	802.16a: 2003 802.16d: Q3 2004	7.12.2005
Spektrum	2 - 11 GHz (3,5 GHz)	2 - 6 GHz (3,5 GHz)
Viditelnost	NLOS (Non Line Of Sight)	NLOS (Non Line Of Sight)
Dosah	50 km v terénu, 10 km v zástavbě	50 km v terénu, 10 km v zástavbě
Rychlost	Až 75 Mbps s kanálem 20MHz	Až 15 Mbps s kanálem 5MHz
Modulace	OFDM 256 subnosných QPSK, 16QAM, 64QAM	S-OFDMA 128 až 2048 subnosných
Mobilita	Stacionární Nomádní	Plně mobilní Garantováno do 150 km/h
Šířka kanálů	Volitelné od 1,25 do 20 MHz	Jako u 802.16d s sub-kanály

WiMAX – Radiové parametry

Dosah / rychlost

RLC (Radio Link Control)

QoS (Quality of Service)



WiMAX– Teoretická rychlost v Mbps

Modulation / Code rate	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 QAM 2/3	64 QAM 3/4
1,75 MHz	1.45	2.18	2.91	4.36	5.82	6.55
3,5 MHz	2.91	4.36	5.82	8.73	11.64	13.09
7,0 MHz	5.82	8.73	11.64	17.45	23.27	26.18
14,0 MHz	11.64	17.45	23.27	34.91	46.55	52.36
20,0 MHz	16.26	24.40	32.53	48.79	65.05	73.19

Při OFDM 256 sub-nosných včetně režie MAC a dalších vrstev.

WiMAX – Teoretické pokrytí v km

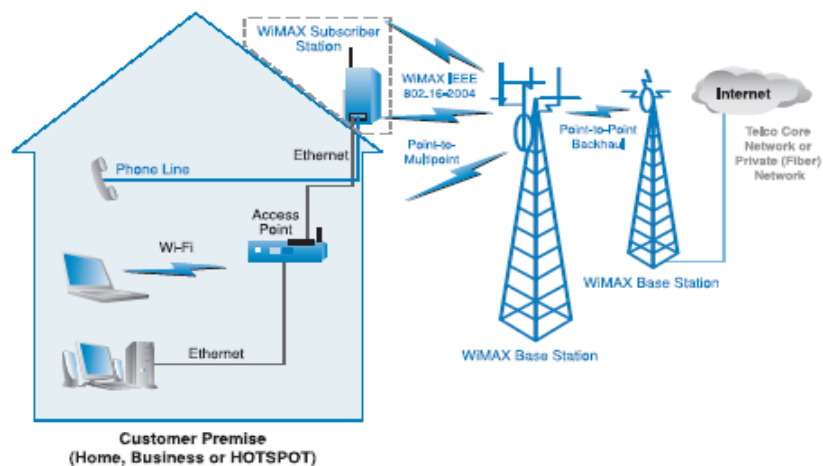
Typ oblasti	Střešní anténa	Okenní/Fixní anténa	Vnitřní/Přenosná anténa
Venkovská	<20 Km při NLOS*	<8 Km	<4 Km
Maloměstská	N/A	<4 Km	<2 Km
Městská	N/A	<2 Km	<1 Km

Přibližné vzdálenosti, velmi záleží na charakteru oblasti

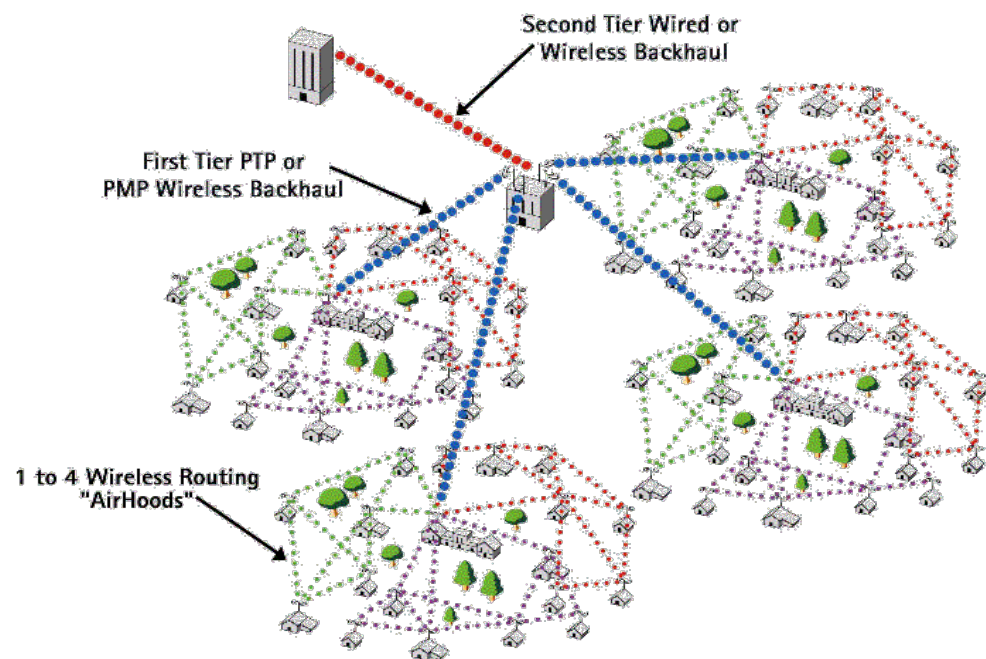
*<50 Km je teoretické maximum pro přímou viditelnost.

WiMAX – architektura

P2MP (Point-to-MultiPoint)

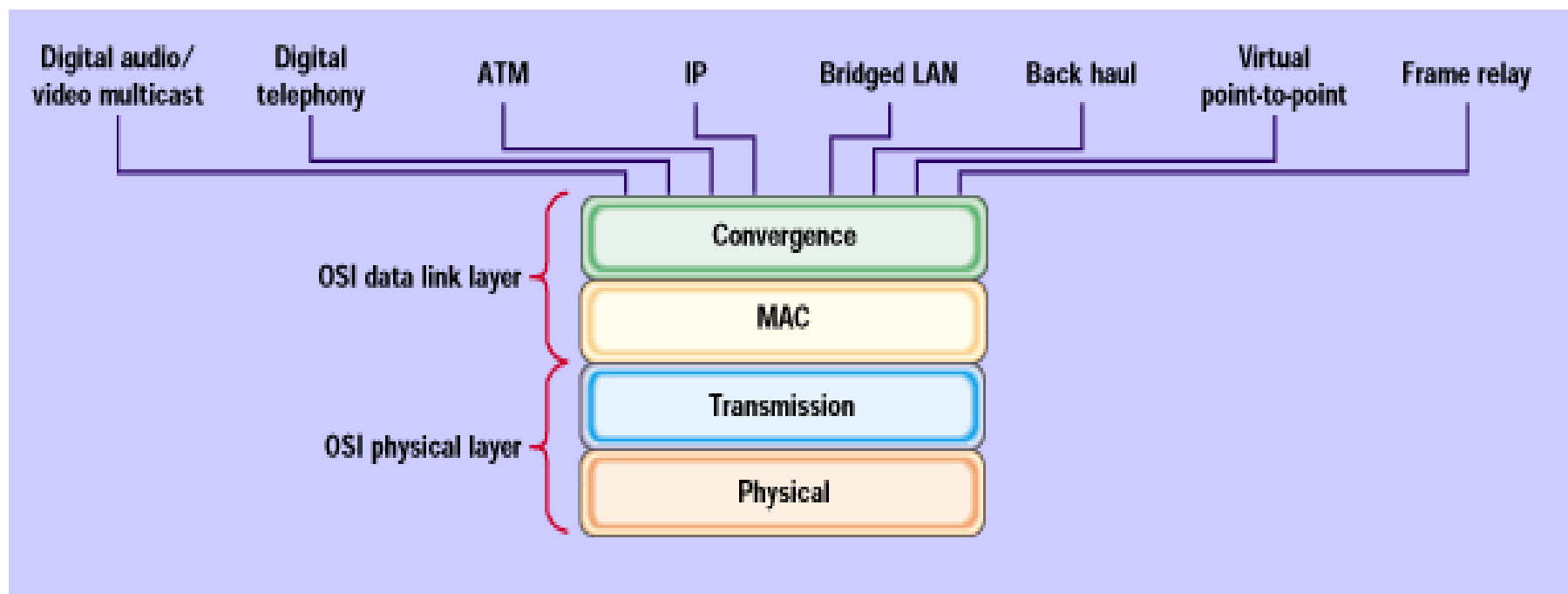


MESH topologie



WiMAX – architektura

4 vrstvy ~ odpovídající dvou nejnižším OSI vrstvám



WiMAX – fyzická vrstva

Nastavení modulace pomocí adaptivních profilů

Parametry je možno měnit pro každý rámeček

Profily jsou identifikovány „Interval Usage Code“ (DIUC a UIUC)

Umožňuje používání SMART antén, směrových antén – zvyšuje dosah

Umožňuje používat dvě různá duplexní schémata

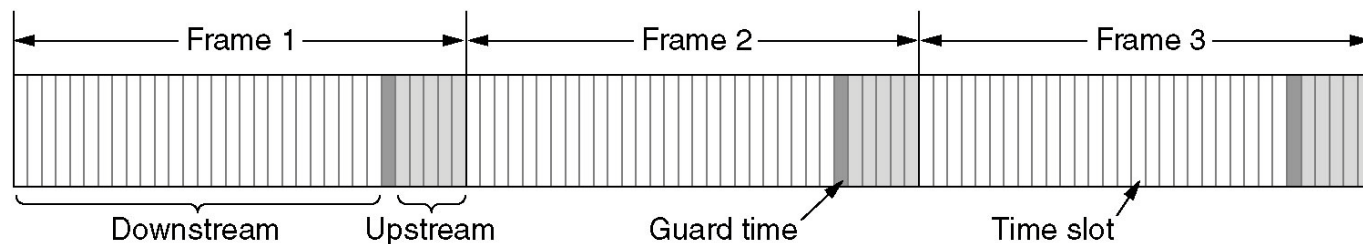
FDD (Frequency Division Duplexing)

TDD (Time Division Duplexing)

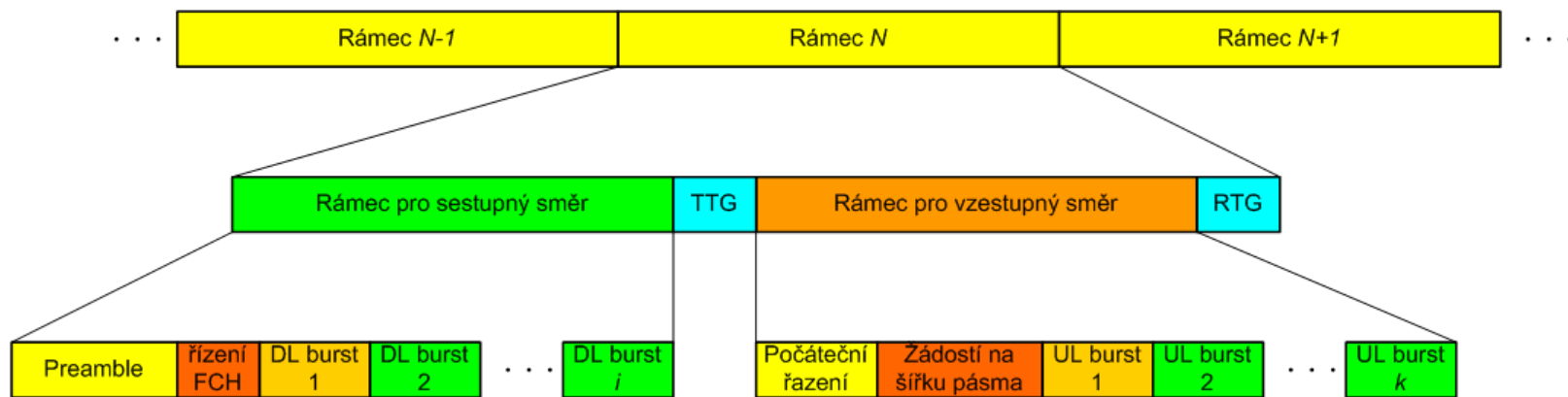
Podpora pro Full Duplex i Half Duplex zařízení

WiMAX – fyzická vrstva

Rámce a časové úseky pro duplexní přenosy časovým dělením



Struktura rámců



obecný rámec

rámec pro rezervaci pásma

WiMAX – fyzická vrstva

Struktura rámců

(a) obecný rámec

(b) rámec pro rezervaci pásma

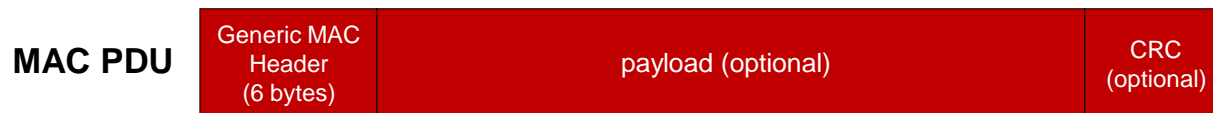


WiMAX – MAC vrstva

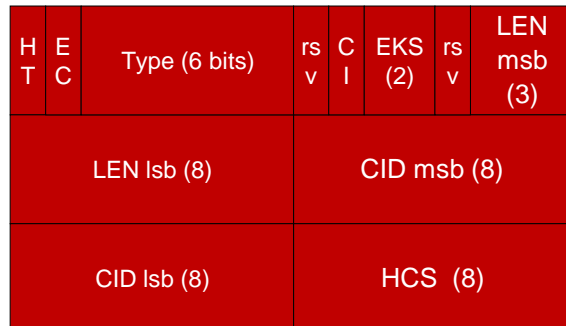
Downstream (k uživateli) – TDM (Time Division Multiplex)

Upstream (od uživatele) – TDMA (Time-Divison Multiple Access)

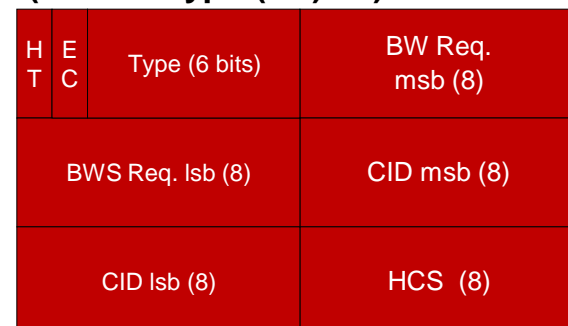
Centralizovaný plánovač – efektivní a přednostní dělení šířky pásma



Generic MAC Header Format (Header Type (HT) = 0)



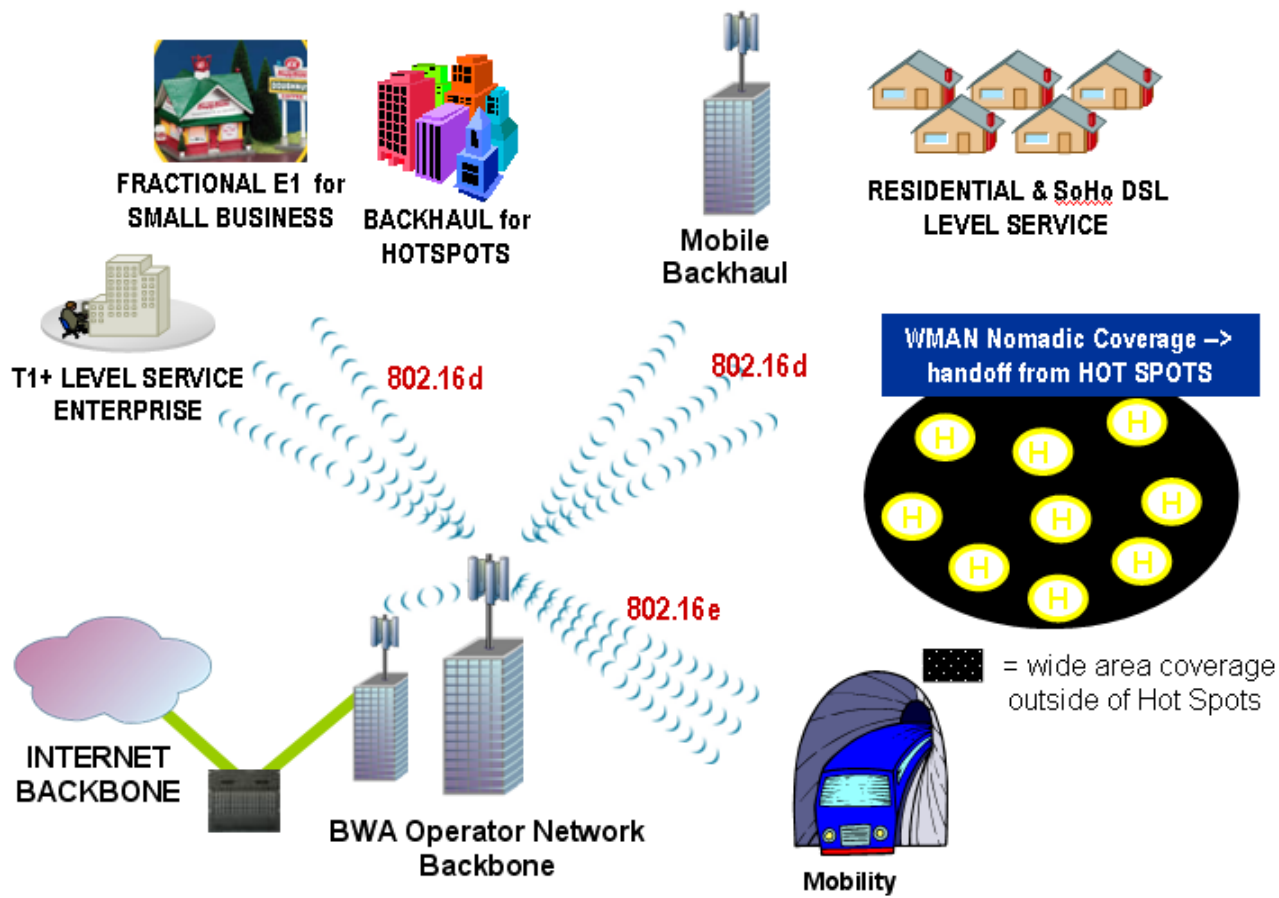
BW Req. Header Format (Header Type (HT) = 1)



WiMAX – třídy služeb

- **Konstantní přenosová rychlost (CBR)**
pro aplikace se striktními požadavky na přenosovou rychlost a zpoždění
- **Proměnná přenosová rychlost v reálném čase (rt-VBR)**
určená pro data citlivá na zpoždění, ale kterým stačí menší šířka pásma než při CBR
- **Proměnná přenosová rychlost mimo reálný čas (nrt-VBR)**
negarantuje zpoždění, striktní požadavek je jen na hodnotu zpoždění při přenosu buňky. Příkladem jsou datové přenosy, citlivé na dobu odezvy.
- **Best efforts service**
Zaručuje přenos dat „s maximálním úsilím“

WiMAX – aplikace



WiMAX – zařízení



Srovnání

802.11 vs. 802.16

802.11 vs. 802.16 – Rozšiřitelnost

802.11

- Pevná šířka kanálu 20 MHz
- MAC je navrhnutá pro podporu desítky uživatelů

802.16

- Šířka kanálu je pohyblivá od 1,5 MHz do 20 MHz
- Šířku pásma lze nastavit operátorem (např. pro sektorizaci)
- MAC je navrhnutá pro podporu tisíce uživatelů

802.11 vs. 802.16 – QoS

802.11

- Podpora pouze v 802.11e – WMM-PS (WMM-SA necertifikováno)
- Založeno na CSMA/CA přístupu → negarantovaný QoS

802.16

- QoS navrhnut pro hlas/video
- MAC založená na žádostech a jejich udělení
- Podporuje různé úrovně služeb např. E1 pro firemní zákazníky; best effort pro domácnosti
- Centrálně řízený QoS

802.11 vs. 802.16 – Dosah

802.11

- Optimalizováno dle standardu pro uživatele do vzdálenosti stovek metrů
- Vyšší dosah při použití směrových ziskových antén, příp. opakovačů

802.16

- Optimalizováno pro typickou velikost buňky 7-10km
- Dosah až 50 km
- Není problém s přímou viditelností (na kratší vzdálenosti)

802.11 vs. 802.16 – Přehled

	802.11a	802.11b	802.11g	802.16d	802.16e
frekvenční pásmo	sdílené 5 GHz	sdílené 2,4 GHz	sdílené 2,4 GHz	licencované 3,5 GHz	licencované 3,5 GHz
rychlost přenosu	do 36 Mbit/s	do 6 Mbit/s	do 30 Mbit/s	do 70 Mbit/s	do 15 Mbit/s
dosah	až 8 km	až 8 km	až 8 km	až 50 km	až 50 km
modulace	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM	OFDM	SOFDMA
bezpečnostní nástroje	WEP, WPA, WPA2	WEP, WPA, WPA2	WEP, WPA, WPA2	DES3, (AES)	DES3, (AES)
priority paketů	ANO (s 802.11e)	ANO (s 802.11e)	ANO (s 802.11e)	ANO	ANO
IP roaming	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
dynamické předání (handover)	ANO (s doplňkem)	ANO (s doplňkem)	ANO (s doplňkem)	ANO	ANO
QoS	částečně (s 802.11e)	částečně (s 802.11e)	částečně (s 802.11e)	ANO	ANO
tolerance pohybu	–	–	–	–	150 km/h
dostupnost standardu	1999	1999	2003	2004	2005

Závěr

- **Kontinuální vývoj technologií**
 - vývoj nových technologií
 - rozvoj stávajících technologií
- **Specifické charakteristiky**
- **Požadavky konkrétních aplikací (telematické, multimediální)**
 - mobilita
 - přesnost
 - spolehlivost
 - přenosová rychlost

Komiks



<http://facebook.com/komixi.mladych.mechaniku>



Děkuji za pozornost !