



TELEKOMUNIKACE

10. přednáška

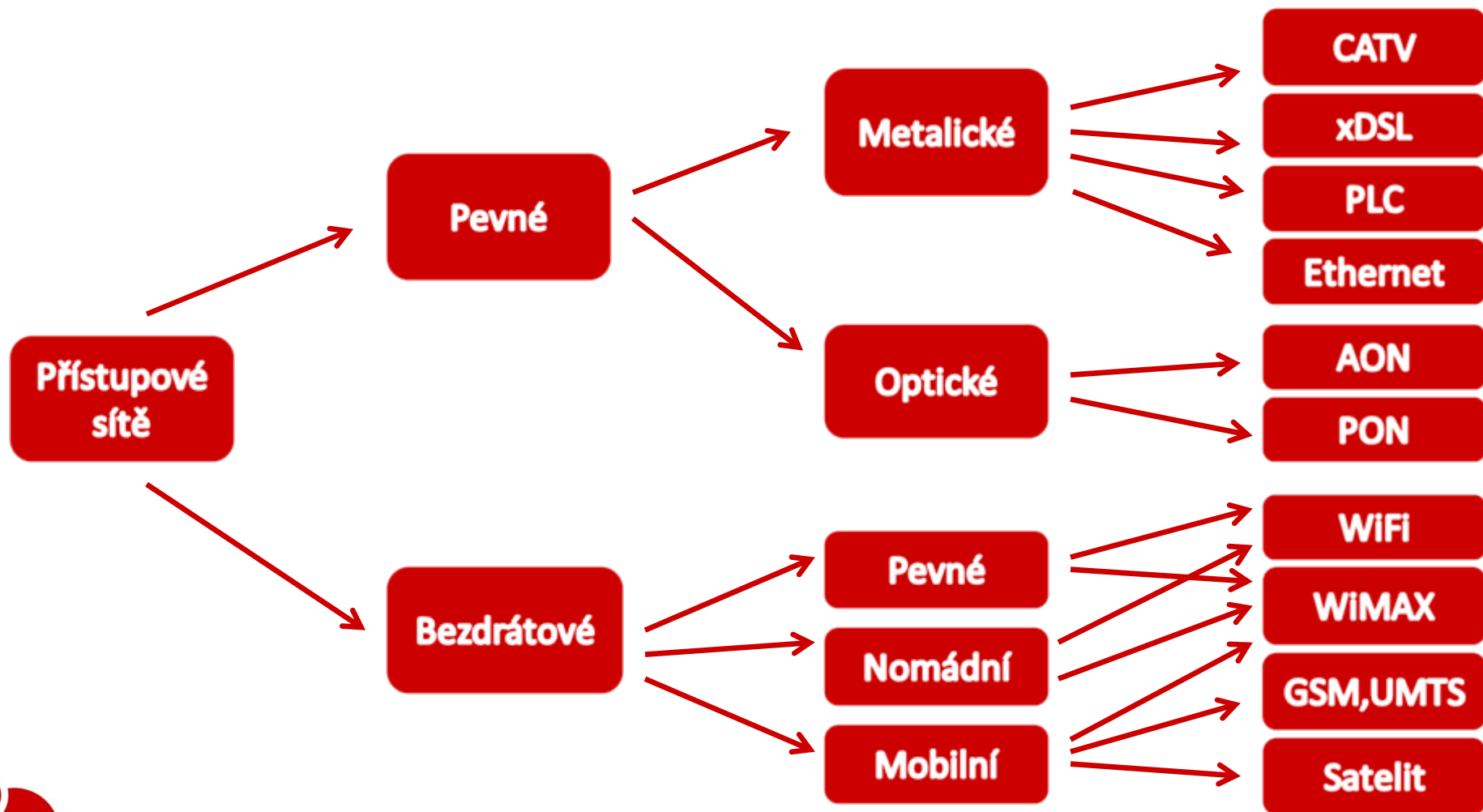
Přístupové sítě

Zimní semestr akademického roku 2009/2010

Agenda

- Různé klasifikace přístupových sítí
- Kabelové přístupové technologie
 - CATV, PLC, xDSL, FTTx, Ethernet
- Bezdrátové přístupové technologie
 - WiFi, WiMAX, Bluetooth, UWB, ZigBee, MBWA, GSM(přístě)

Přístupové systémy



Klasifikace kabelových systémů

dle typu signálu:

- **Metalické sítě** – nejčastější typ, dosah až desítky/stovky km, různá přenosová rychlost, u nejvyšších typů až několik stovek Mbit/s,



- **Optické sítě** – dosah až několik jednotek/desítek/stovek km, vysoká přenosová rychlost – až několik Gbit/s



Klasifikace bezdrátových systémů

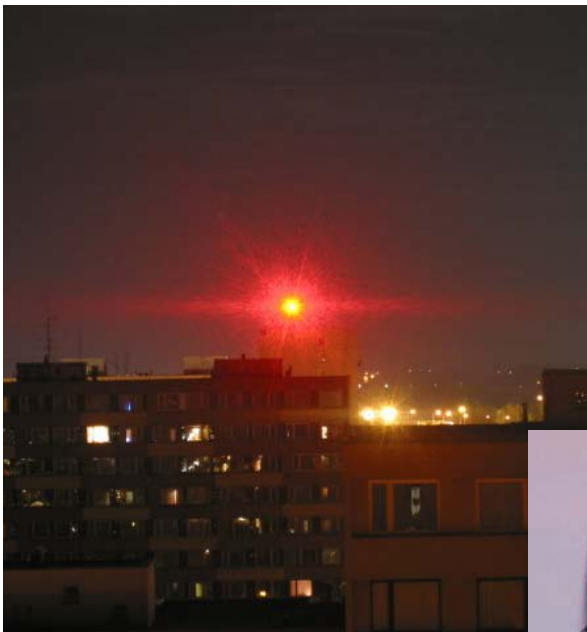
dle typu signálu:

- **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



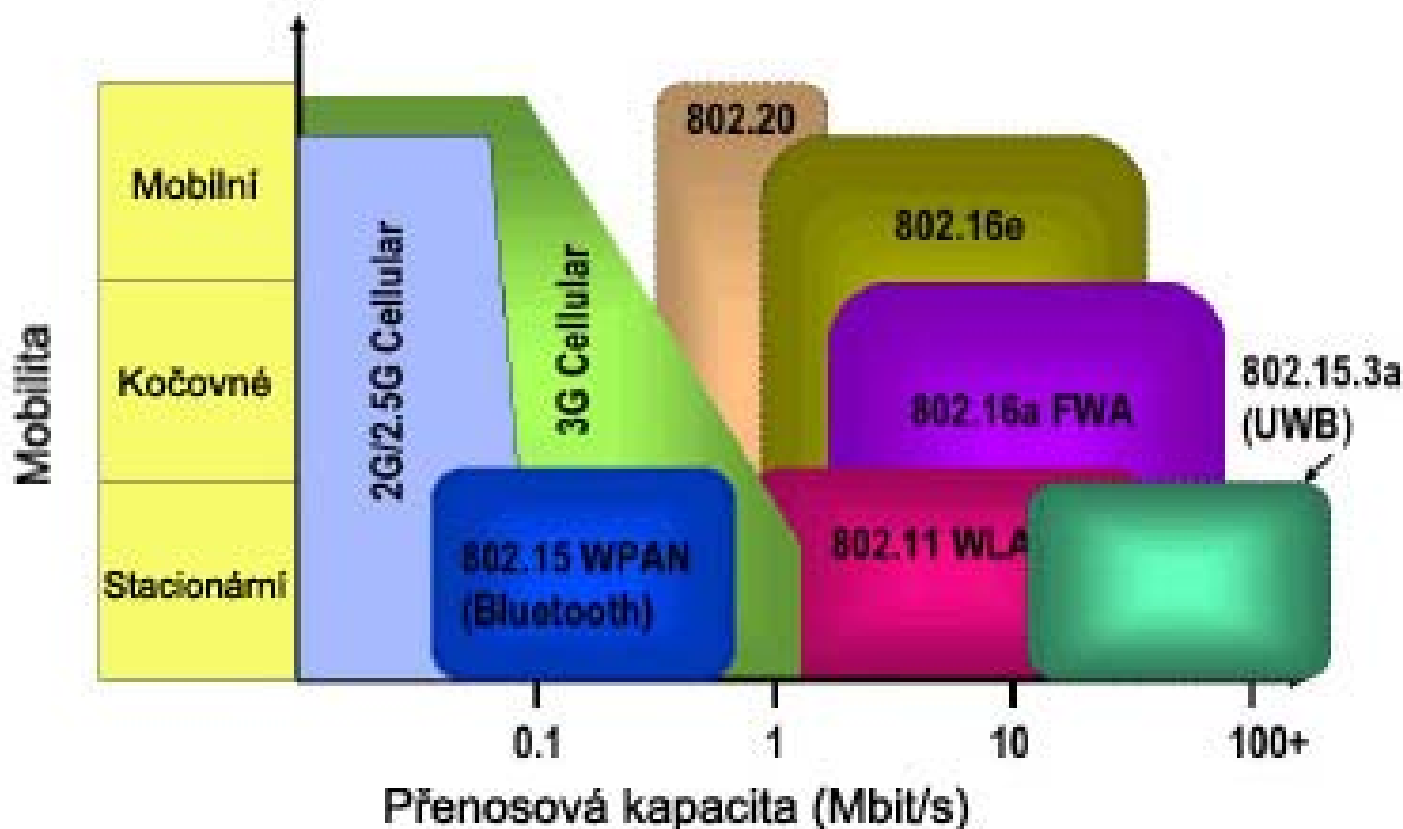
Klasifikace bezdrátových systémů

dle podpory mobility objektů:

- **Stacionární síť** – síť pro komunikaci v klidovém stavu bez přesunu objektů.
- **Nomádní (kočovné) 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

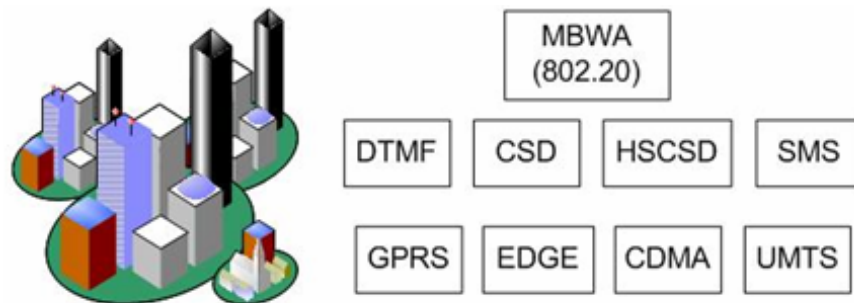
dle podpory mobility objektů:



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)

Kabelové přístupové sítě

Uvedeme typické představitele celého spektra dostupných řešení:

- **CATV** pro připojení zákazníků k Internetu pomocí kabelové televizní sítě – 23 %
- **PLC (PDSL/BPL)** technologie přenosu po silových kabelech
- **xDSL technologie**, jako jsou **HDSL, ADSL, VDSL** atd. využívající přístupové sítě telekomunikačních sítí povětšinou CAT 1. – 25 %
- **FTTx** (Fiber To The X (Home Building Network)) – 5 %
- **Ethernet** sítě užívající UTP kabelů

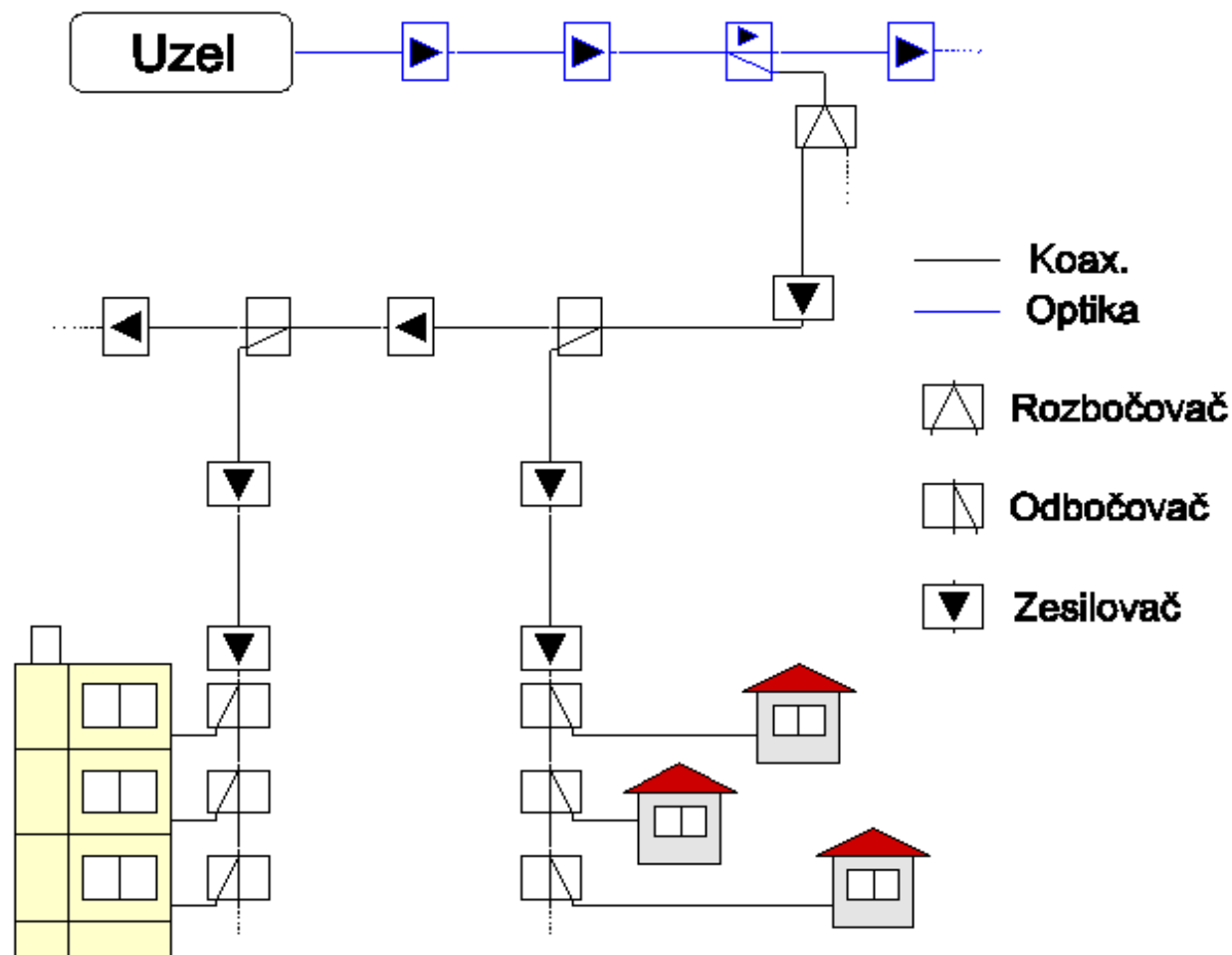
CATV

- V sítích kabelové televize v pásmu 42 - 750 MHz bývá k dispozici dostatek neobsazených kanálů o šířce 6 MHz.
- Ve zpětném směru se využívají „úzké“ kanály v pásmu 5 - 40MHz.
- **Přípojka** je stejně jako např. u ADSL **asymetrická**.
- 6MHz kanálem lze v "**dopředném**" směru přenést až **27Mbit/s** nebo **36 Mbit/s** v závislosti na typu modulace, opačným směrem obvykle pouze **stovky kilobitů** až **jednotky megabitů**.
- Každý **kanál sdílí více účastníků** - podle kvality poskytované služby až stovky uživatelů.

CATV

- Stávající **rozvody kabelové televize jsou** z principu **jednosměrné**, s jedním vysílačem a mnoha přijímači ve stromové architektuře, tj. multiplexní médium typu „**broadcast**“.
- **IP požaduje** jednoznačně obousměrný přenos (**duplex**).
- Je nutná přestavba rozvodů - **aktivní prvky jsou jednosměrné**.
- **Pasivní prvky** (rozbočovače, odbočovače) a koaxiální kabeláž jsou z principu **obousměrné**.
- Uzlová zařízení pro připojení k internetu jsou umístěny u kořene každého analogového segmentu jejichž IP konektivita se řeší **odděleně od distribuce televizního signálu**.

Typická topologie analogové TV kabelové sítě



PLC – Power Line Communication

Někdy též **BPL (Broadband over Power Line)**

- Určen pro **přenos informací po** elektrických rozvodech **NN a VN**.
- Není doposud standardizován – hlavní **problém** je **elektromagnetická kompatibilita**
- Dosah při dodržení referenčních vlastností na „ideálním“ kabelu
 - do 400m na NN rozvodech
 - do 700m na VN rozvodech
- Datový tok až **200Mbit/s**
- Možnost opakování (zesílení)



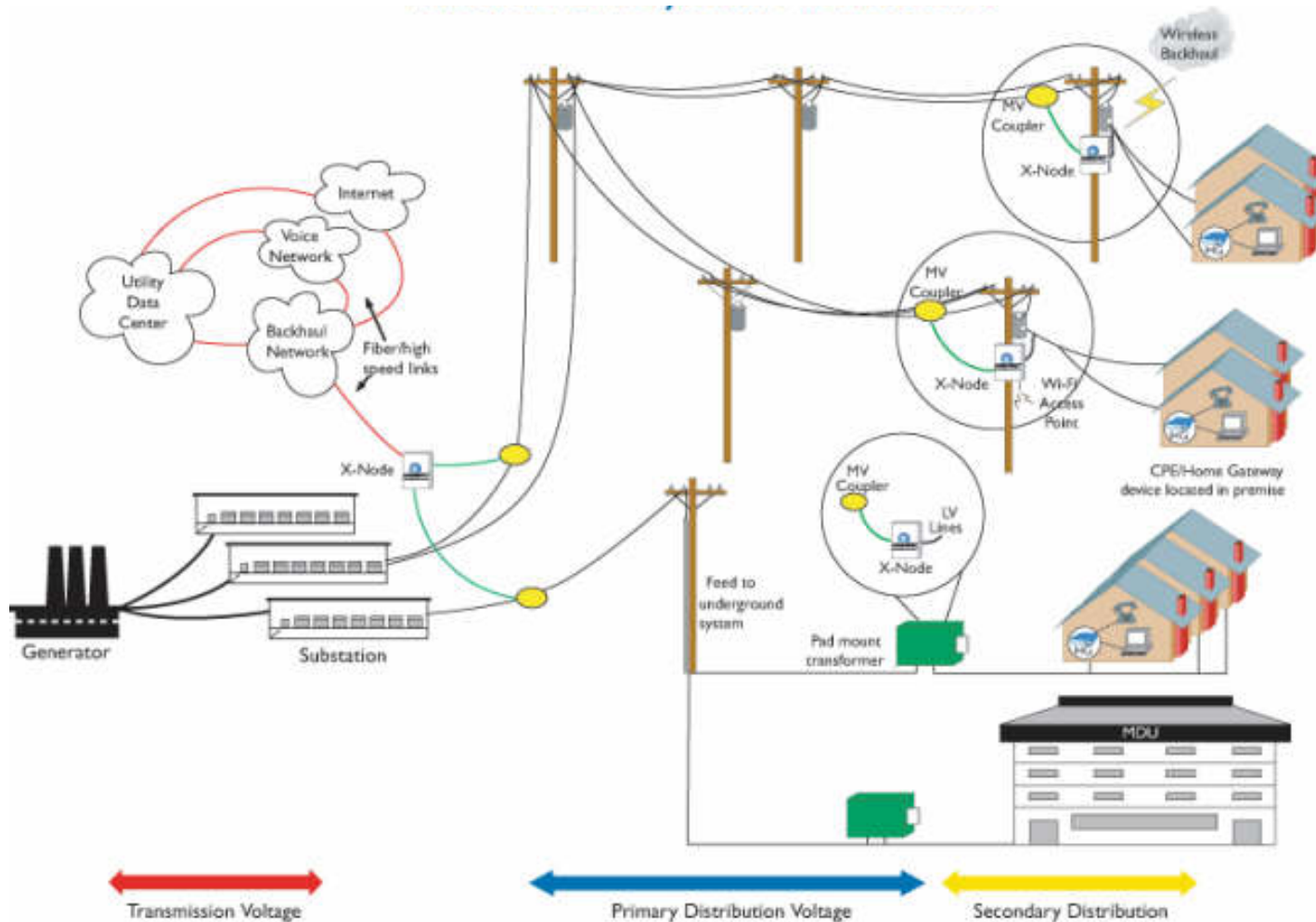
PLC – Power Line Communication

Zejména ze systémového pohledu PLC představuje skutečně vysoce moderní přístupovou technologii.

- **QoS (802.1p) s víceúrovňovými prioritními frontami** a programově nastavitelným mechanismem klasifikace priorit pro simultánní multimediální aplikace v reálném čase.
- Možnost **distribuce video a audio signálů**.
- Programově **nastavitelná šířka pásma**.



Princip PLC



ADSL

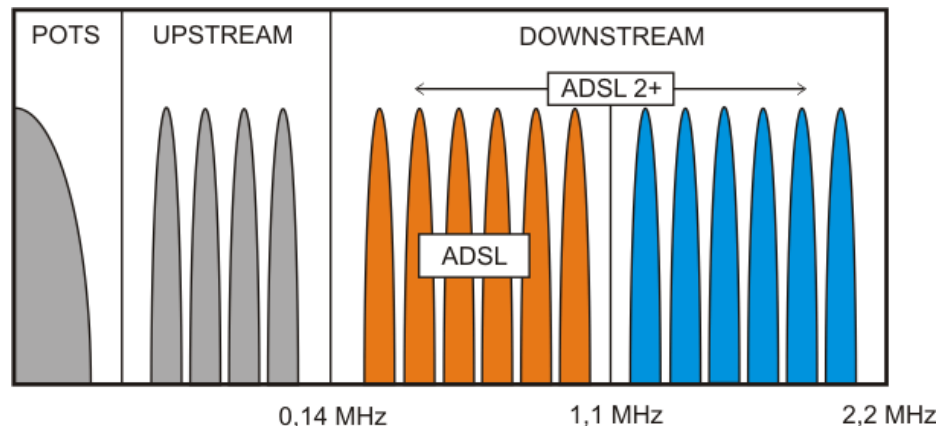
Asymmetric Digital Subscriber Line

Využívá **metalický kroucený pár** kde je využitelný frekvenční rozsah do cca 1,1 MHz.



Vzhledem k tomu, že přenosová charakteristika přenosového média nezaručuje srovnatelné parametry v celém frekvenčním spektru, vychází princip ADSL z **rozdělení** použitého **pásma na sub-pásma**, z nichž každé je individuálně využíváno na základě identifikace jeho vlastností při iniciaci modemu.

Rozdělení spektra u technologie ADSL 1. generace



- Nejnižší pásmo 64Khz

je určeno výhradně pro přenos analogové telefonní služby s oddělovacím pásmem 60kb/s, tj. celkem 64kb/s, anebo pro 2B+D službu ISDN.

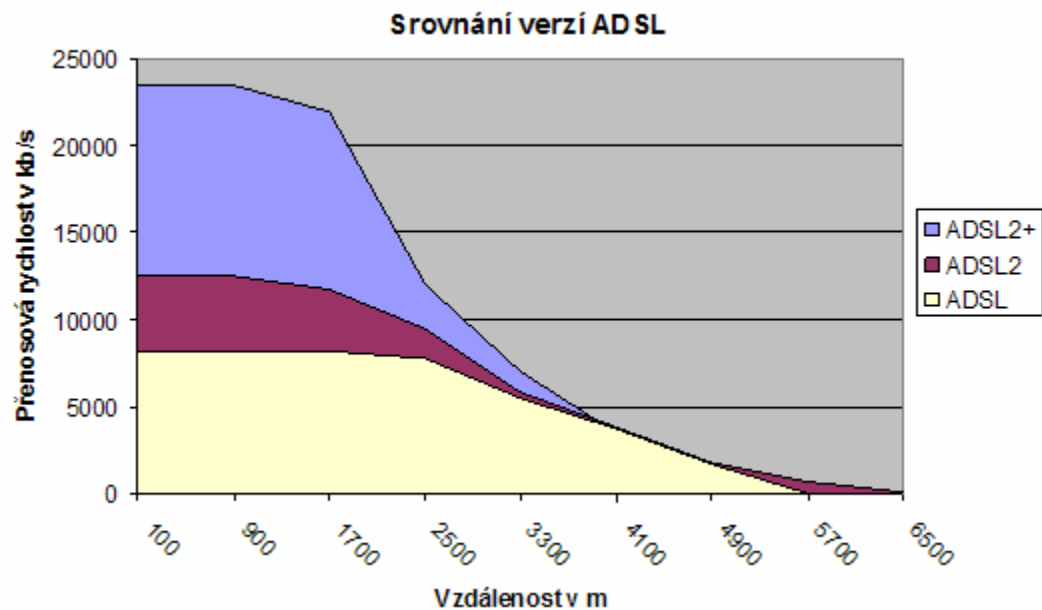
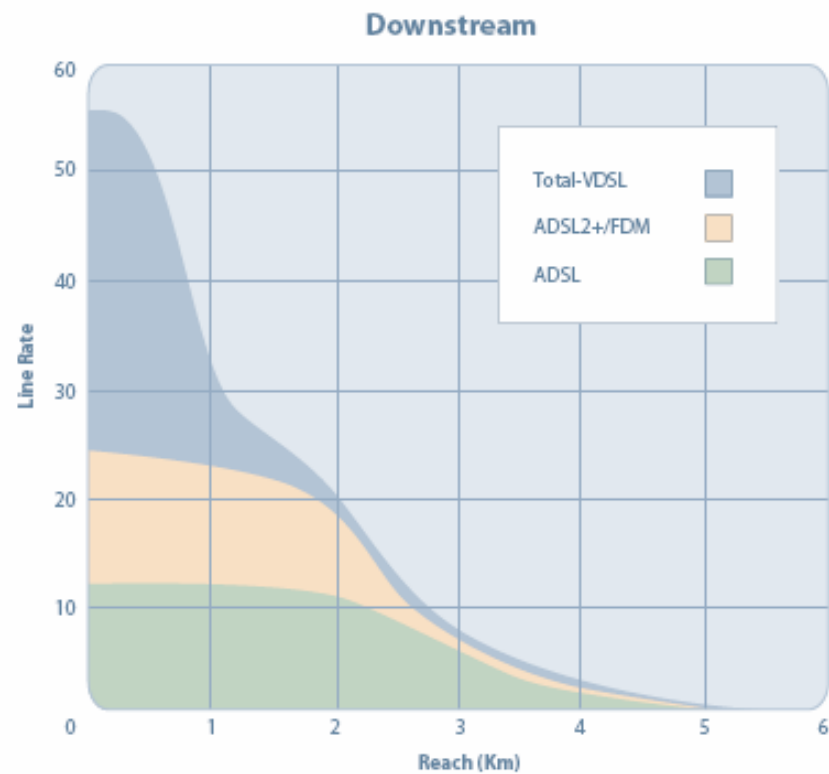
- Pásmo od 64Khz to 1,1Mhz

je rozděleno na 256 sub-pásmem. Každé sub-pásmo o šířce 4kHz představuje nezávislý kanál a je využíváno pro stanovenou přenosovou kapacitu podle při iniciaci modemu naměřených parametrů.

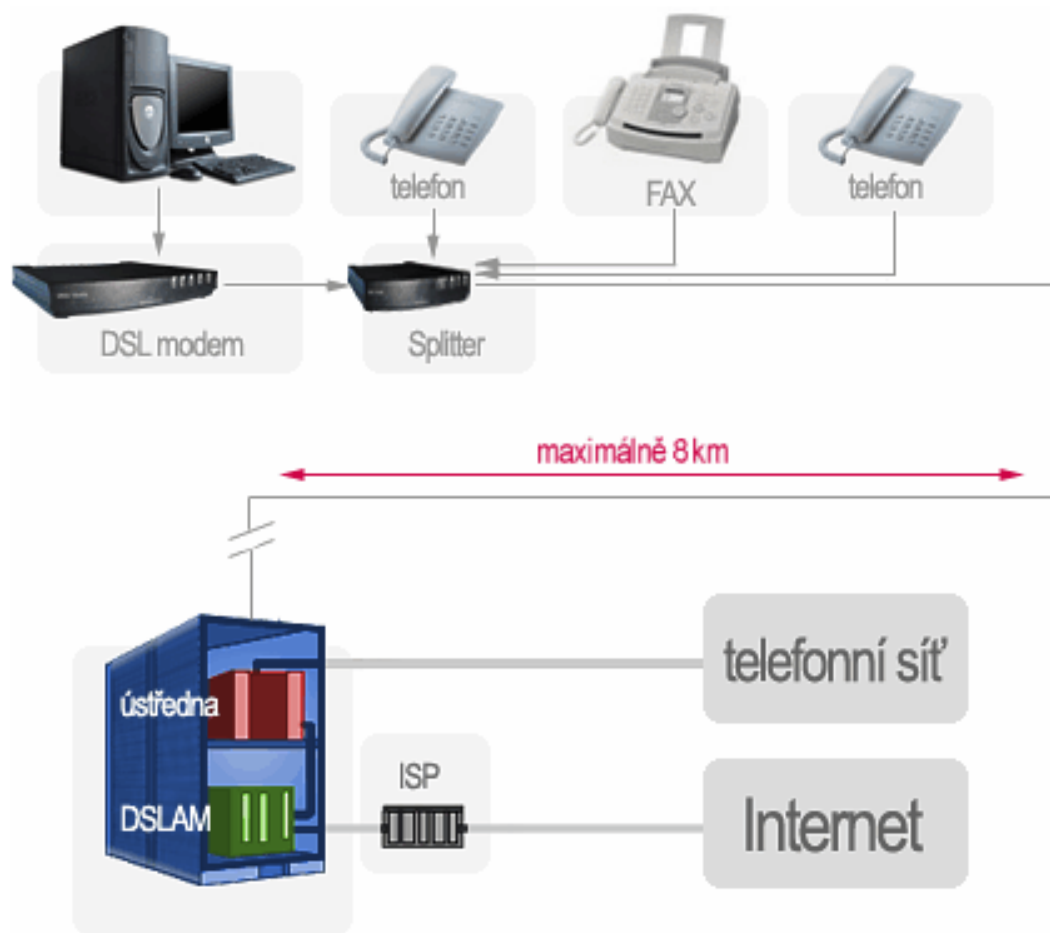
ADSL

Asymmetric Digital Subscriber Line

Přenosové kapacity jednotlivých xDSL a ADSL verzí



Zapojení v xDSL

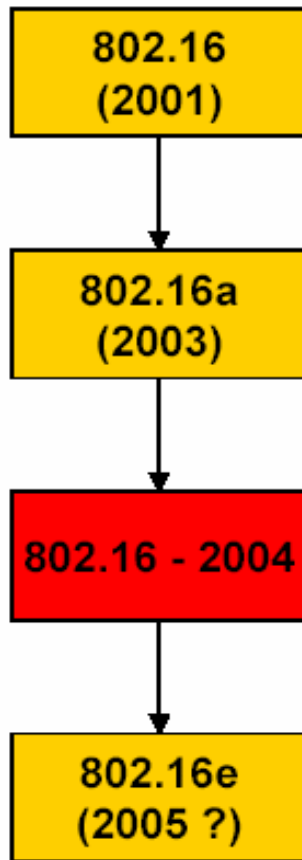


Bezdrátové přístupové sítě

Uvedeme typické představitele celého spektra dostupných řešení:

- **WiMAX**
- **WiFi**
- **Bluetooth**
- **UWB**
- **ZigBee**
- **MBWA**
- **GSM (samostatná přednáška)**

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

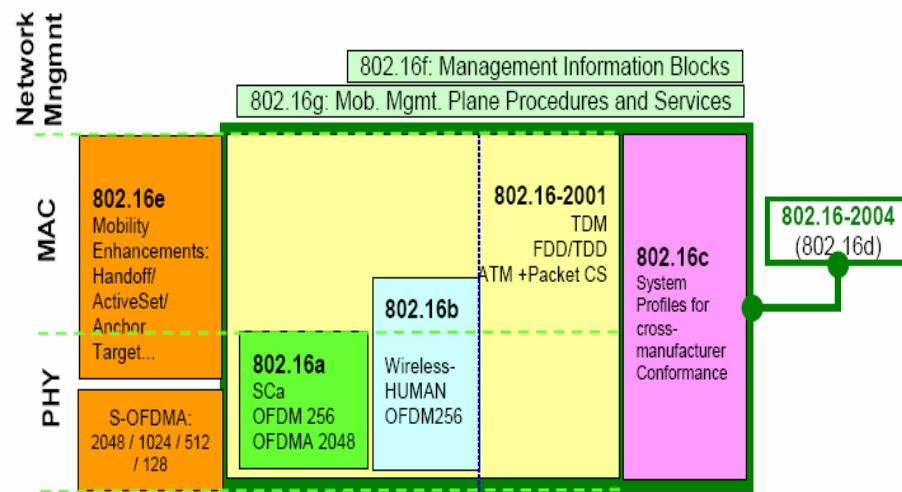
- 10 až 66 GHz

802.16d

- Revize 802.16a a sjednocení standardů

802.16e

- Mobilní doplněk
- Vysokorychlostní předávání (handover) spojení zařízení



WiMAX – IEEE 802.16

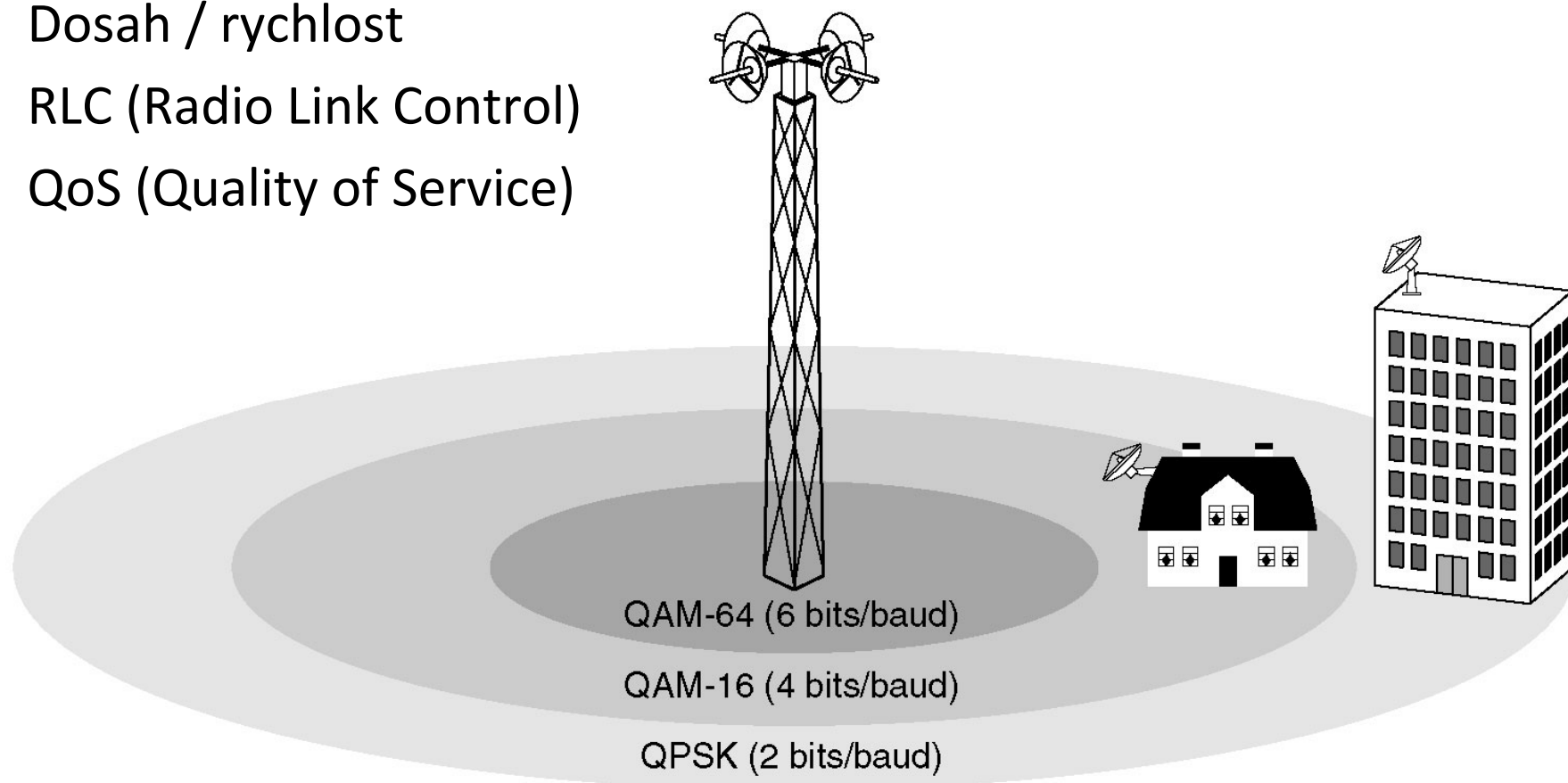
	802.16d	802.16e
Schváleno	802.16a: 2003 802.16d: Q3 2004	7.12.2005
Spektrum	2 - 11 GHz (3,5 GHz)	2 - 6 GHz (3,5 GHz)
Viditelnost	NLOS (Non Line Of Sight)	NLOS (Non Line Of Sight)
Dosah	50 km v terénu, 10 km v zástavbě	50 km v terénu, 10 km v zástavbě
Rychlost	Až 75 Mbps s kanálem 20MHz	Až 15 Mbps s kanálem 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

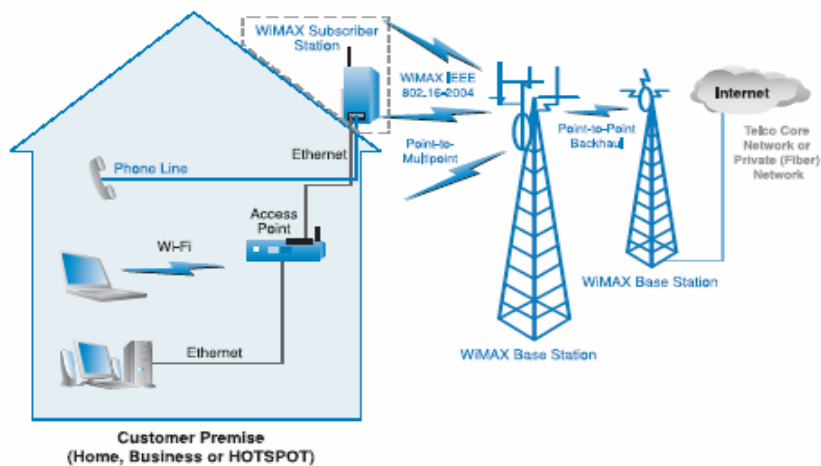
Typ oblasti	Střešní anténa	Okenní/Fixní anténa	Vnitřní/Přenosná anténa
Venkovská	<20 Km při NLOS*	<8 Km	<4 Km
Maloměstská	N/A	<4 Km	<2 Km
Městská	N/A	<2 Km	<1 Km

Přibližné vzdálenosti, velmi záleží na charakteru oblasti

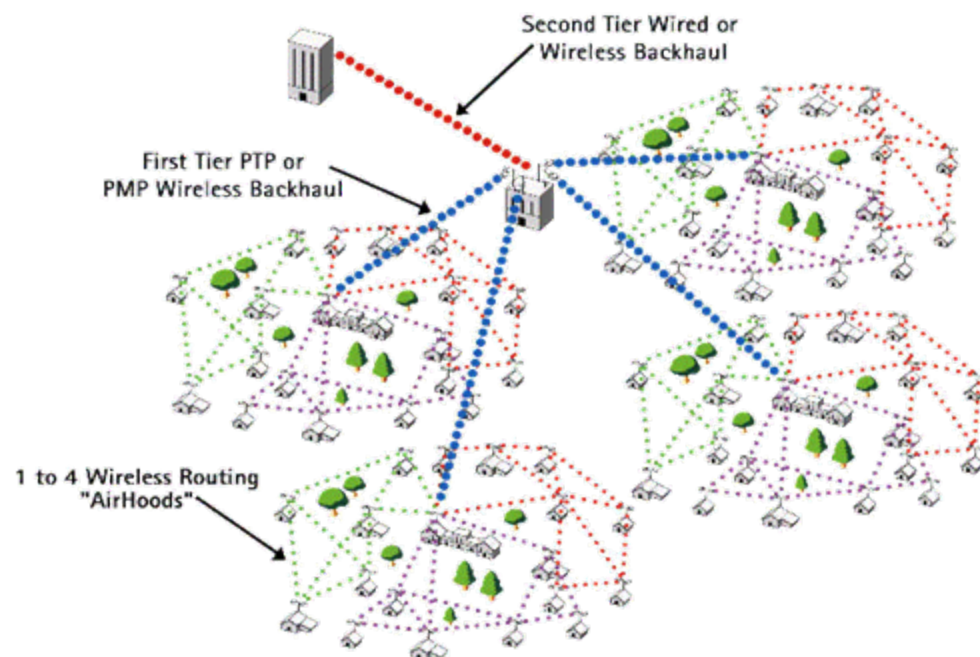
*<50 Km je teoretické maximum pro přímou viditelnost.

WiMAX – architektura

P2MP (Point-to-MultiPoint)

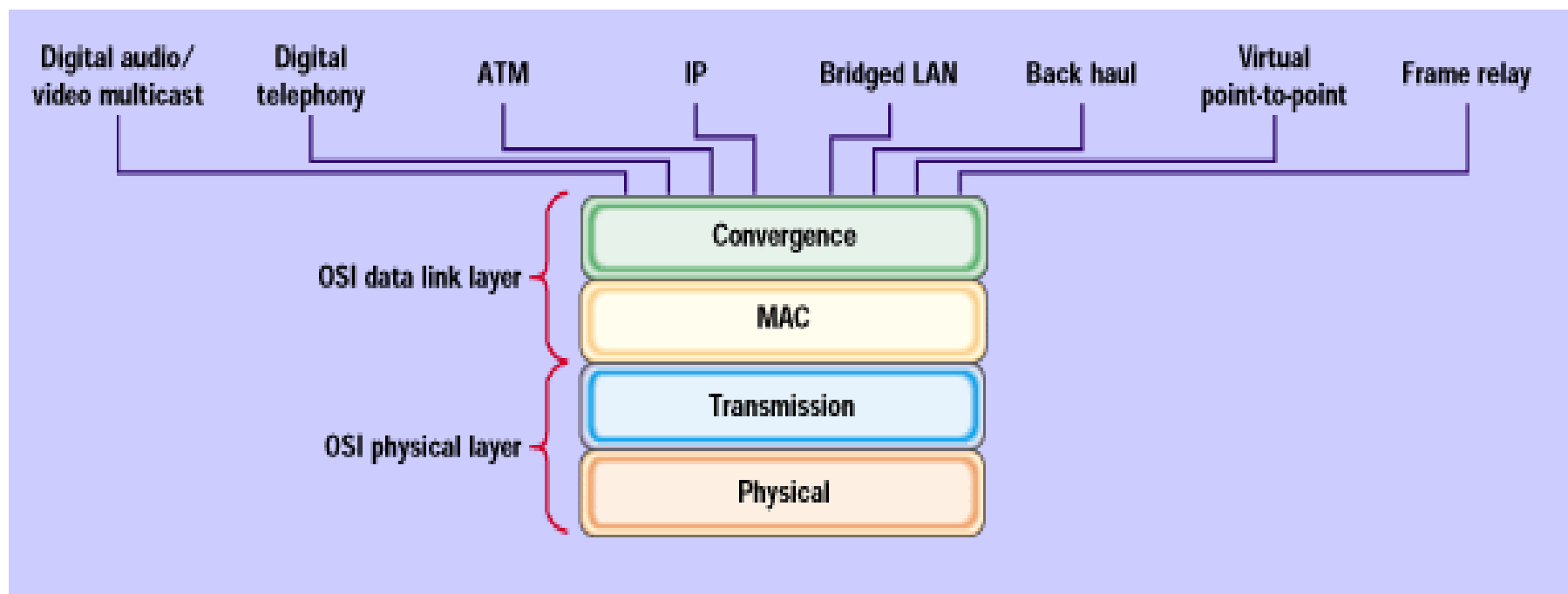


MESH topologie



WiMAX – architektura

4 vrstvy ~ odpovídající dvou nejnižším OSI vrstvám



WiMAX – fyzická vrstva

Nastavení modulace pomocí adaptivních profilů

Parametry je možno měnit pro každý rámec

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

Umožňuje používání SMART antén, směrových antén – zvyšuje dosah

Umožňuje používat dvě různá duplexní schémata

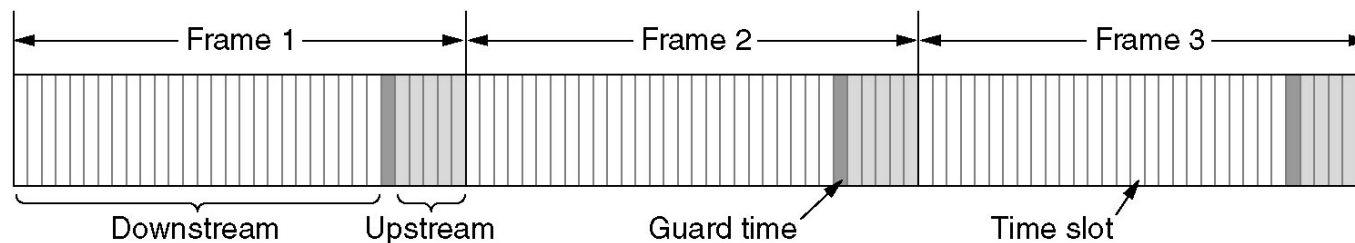
FDD (Frequency Division Duplexing)

TDD (Time Division Duplexing)

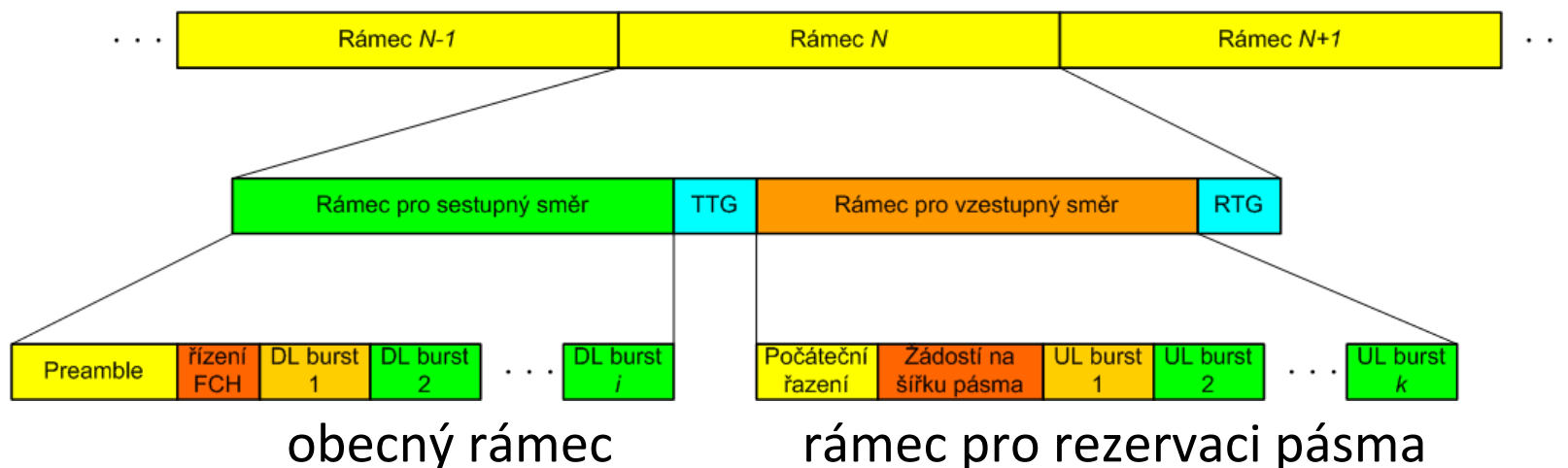
Podpora pro Full Duplex i Half Duplex zařízení

WiMAX – fyzická vrstva

Rámce a časové úseky pro duplexní přenosy časovým dělením



Struktura rámců

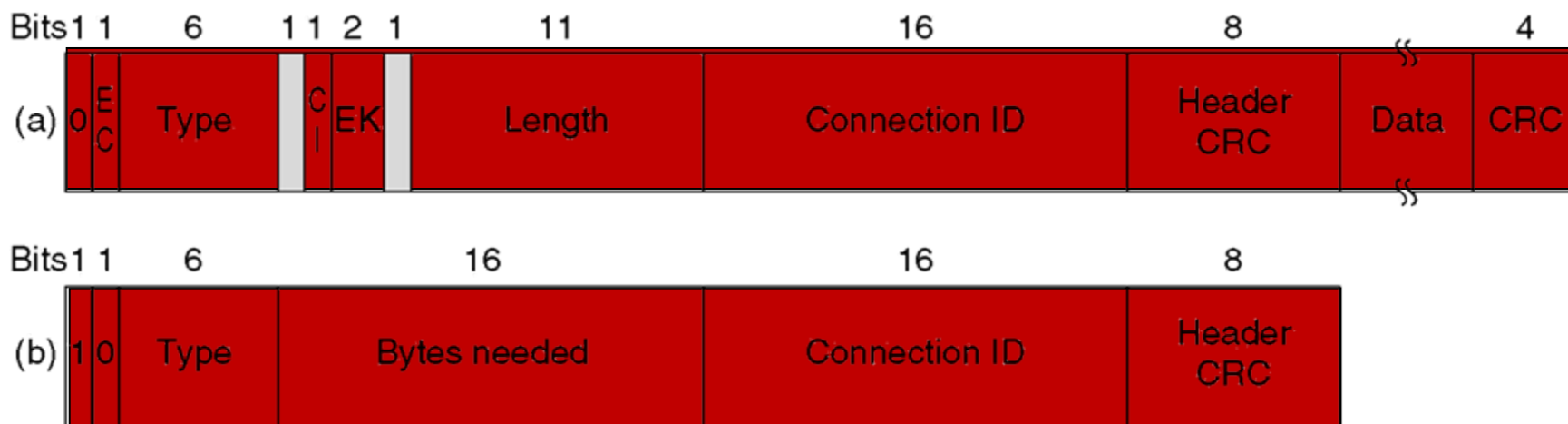


WiMAX – fyzická vrstva

Struktura rámců

(a) obecný rámec

(b) rámec pro rezervaci pásma

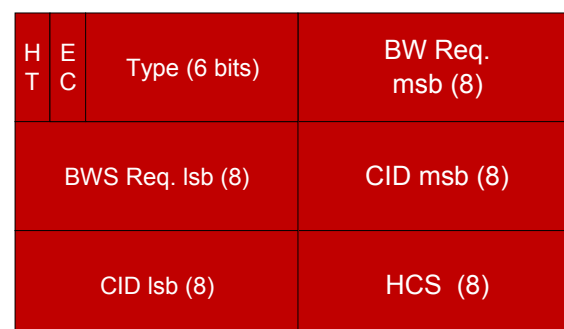
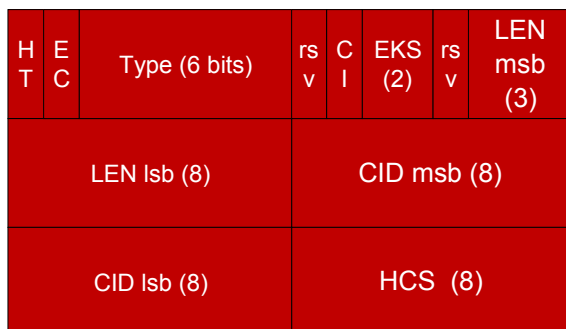
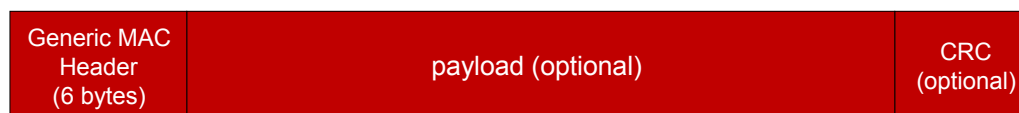


WiMAX – fyzická vrstva

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

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

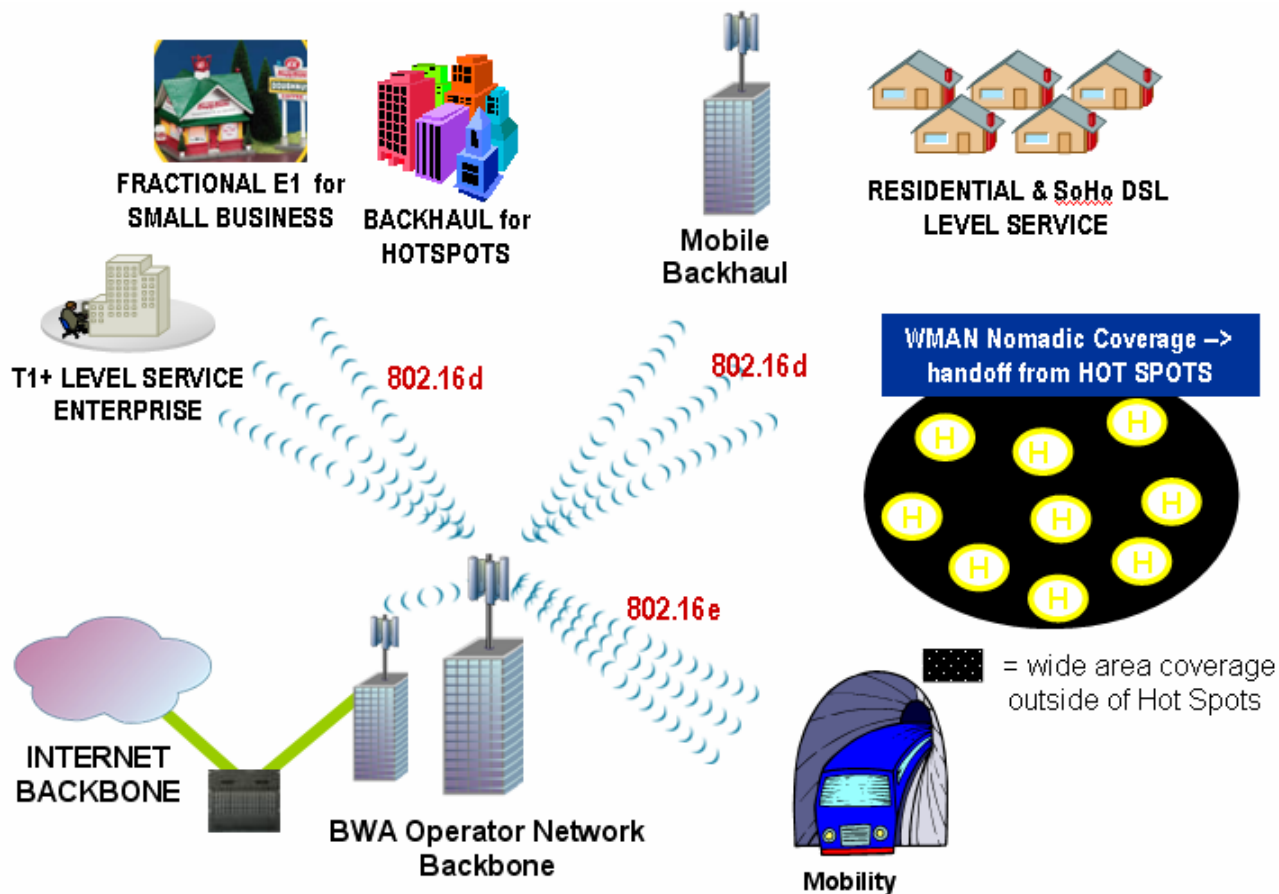
Centralizovaný plánovač – efektivní a přednostní dělení šířky pásma



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



WiFi – IEEE 802.11

Wireless Fidelity – Bezdrátová věrnost

- První verze přijata v r. 1997
- 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 f / 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	2010?	Bezdrátový přístup pro mobilní zařízení.
802.11u	2010?	Spolupráce s externími sítěmi.
802.11v	2010?	Management bezdrátových zařízení.
802.11s	2011?	Multi-hopping.

IEEE 802.11a

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání 1.9.2005
- 5,470 – 5,725 GHz (255 MHz)
- 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

IEEE 802.11b

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz)
- 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

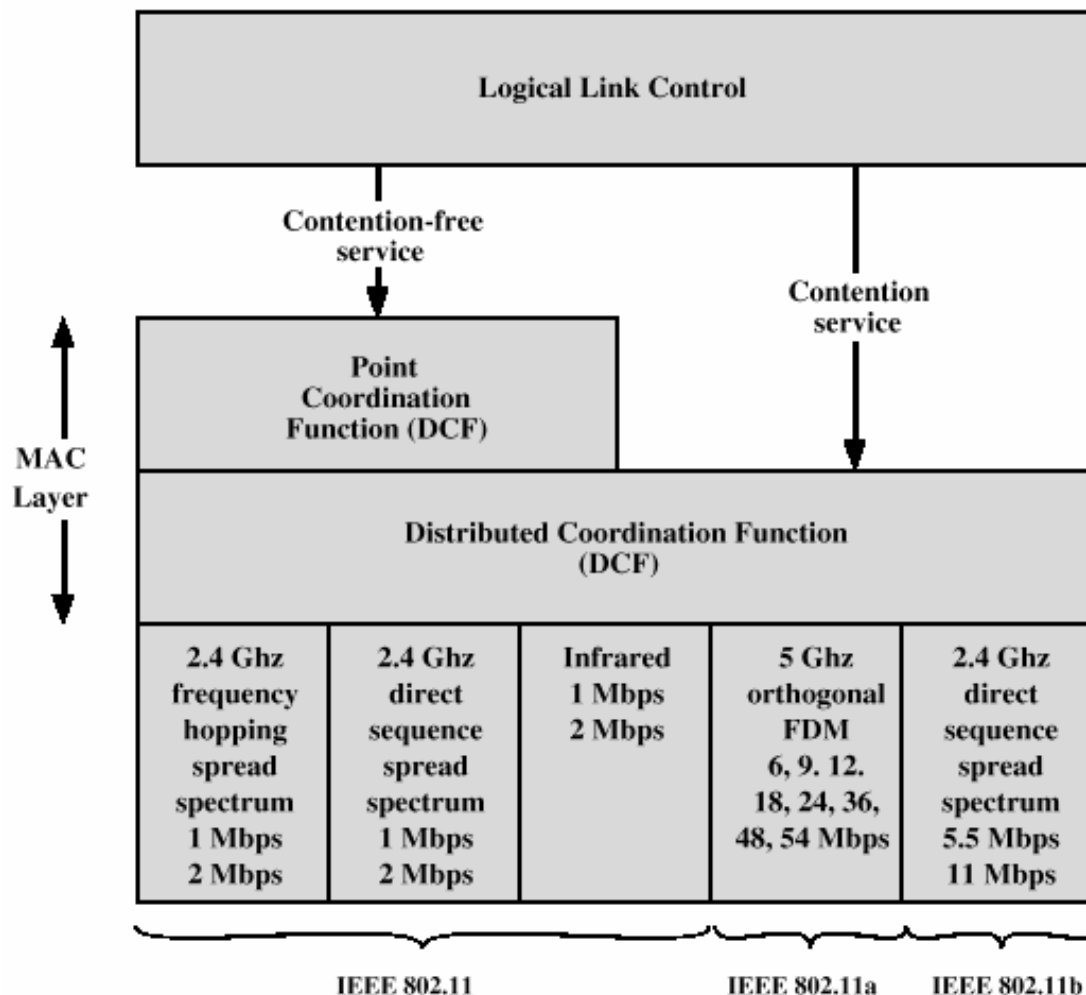
IEEE 802.11g

- Schváleno v r. 2003, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz)
- 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 802.11p

- Schválení v listopadu 2010 ?
- WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment)
- 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

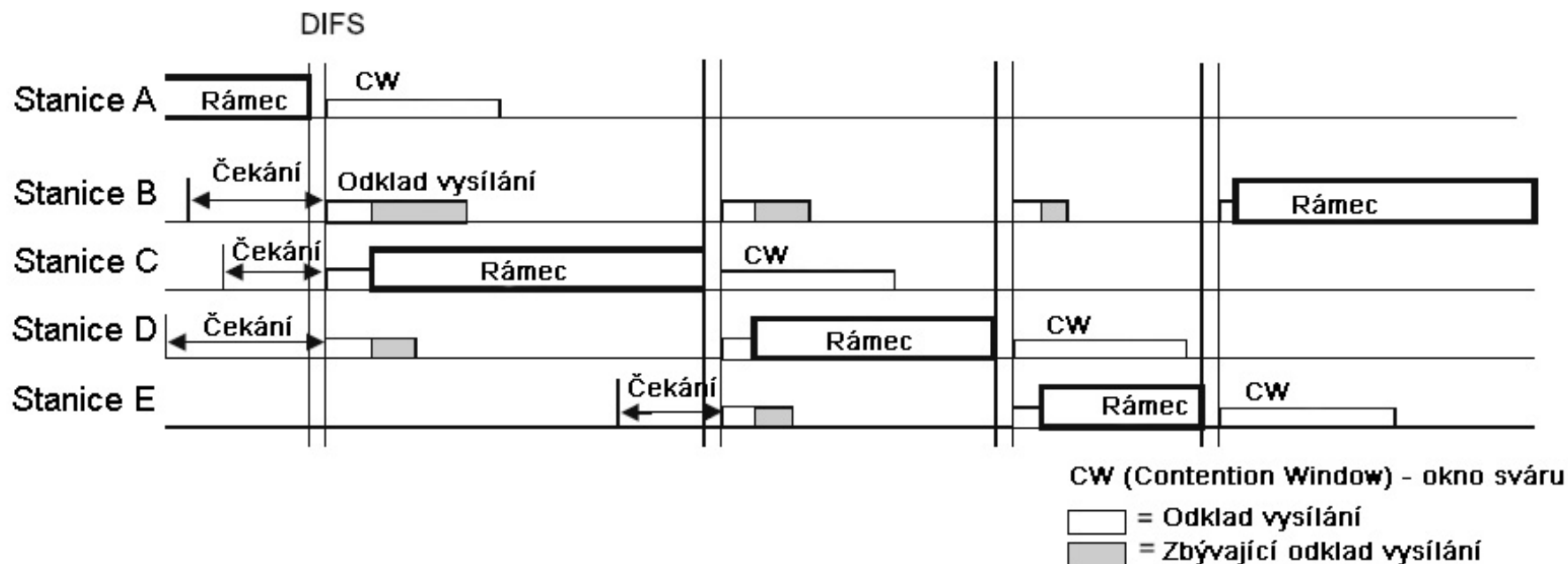
IEEE 802.11 – architektura



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

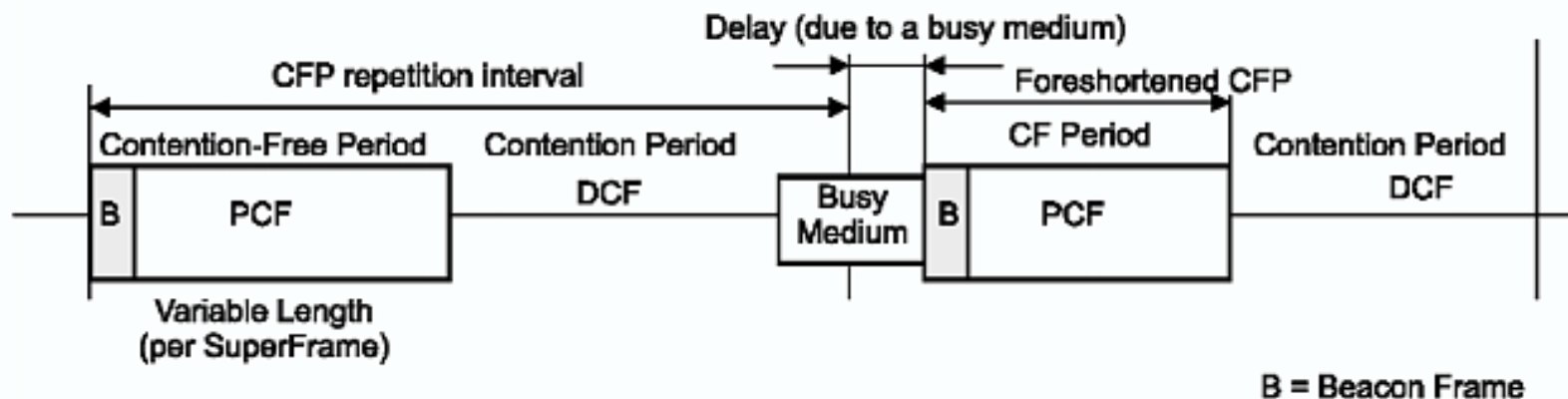
Zřídka implementováno, malá podpora, není zde volba priorit

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

CP (Contention Period) – DCF přístup

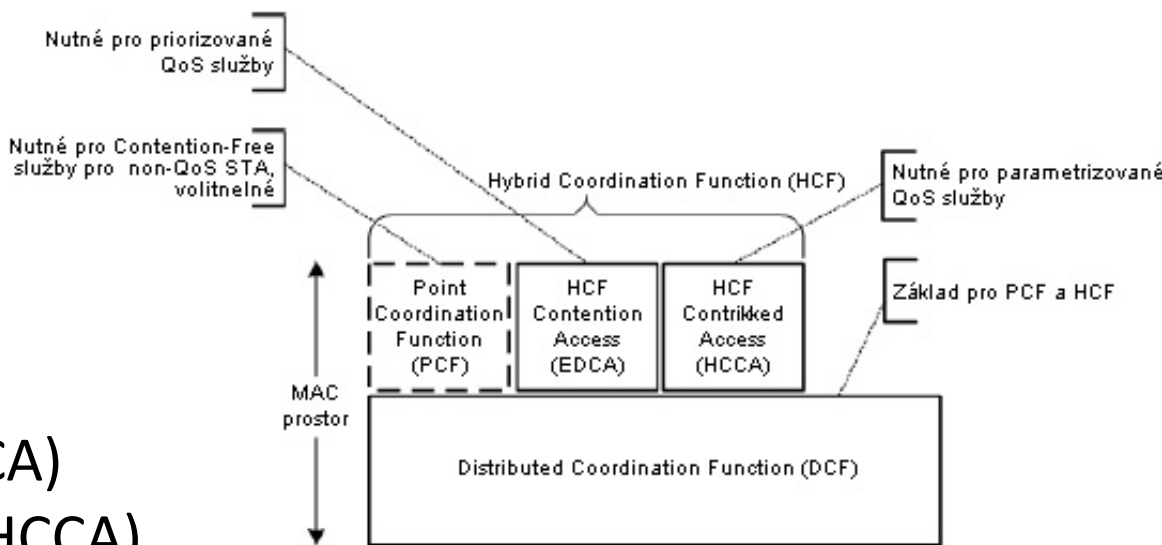
CFP (Contention Free Period) – PCF přístup

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 Acces 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 802.11n

- Schváleno 11.9.2009
- 2,4 GHz a 5 GHz s kanálem 40 MHz
(dva sdružené 20 MHz kanály)
- Upravené OFDM – 52 dílčích datových pásem
- MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- Dostupná max. rychlost 300 Mbit (Draft 2.0)
- Teoretická max. rychlost až 600 Mbit
(4 nezávislé 40 MHz kanály)
- Kompatibilita s 802.11a/b/g

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

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 navrhnout 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

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

IEEE 802.15.1 – Bluetooth

- Od r. 1998 – SIG (Special Interest Group)
- Bluetooth v1.1 byl přijat IEEE jako norma 802.15.1
- Rychlost:
 - v1.1 ~ 1 Mbit/s (720 kbit/s)
 - V2.0 EDR ~ 2,1 Mbit/s
- 2,4 GHz s FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
během 1s provede 1600 skoků mezi 80 frekvenci s krokem 1 MHz (79 nosných)
- Dosah 10 až 100 m (dle výkonu)

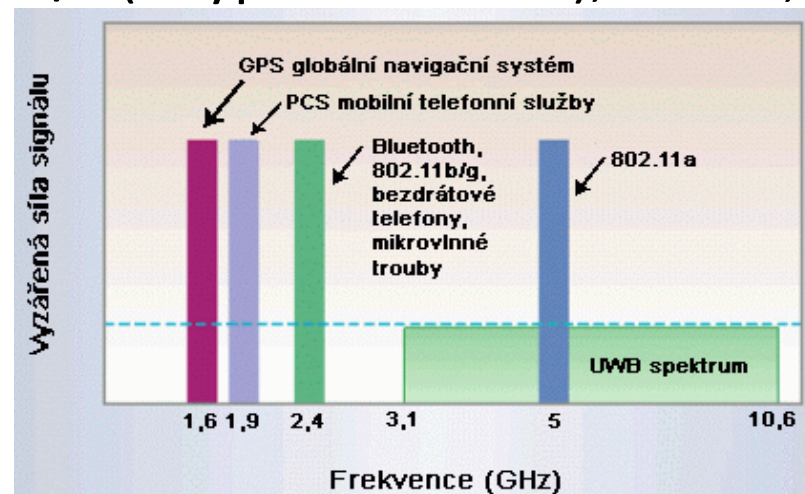
IEEE 802.15.3 – UWB(UltraWideBand)

IEEE 802.15.3

- Schváleno 06/2003
- Spolupráce s 802.11b/g, 802.15.1 a 802.15.4
- Malá spotřeba, rychlost až 55 Mbit/s (5 typů modulace), TDMA, QoS
- 2,4 GHz

IEEE 802.15.3a – ZRUŠENO

- Rychlost: 110 Mbit/s do 10m
- 480 Mbit/s do 1m
- min. 500 Mhz z pásma od 3,1 GHz do 10,6 GHz
- problém v typu fyzické vrstvy – nedosažení kompromisu

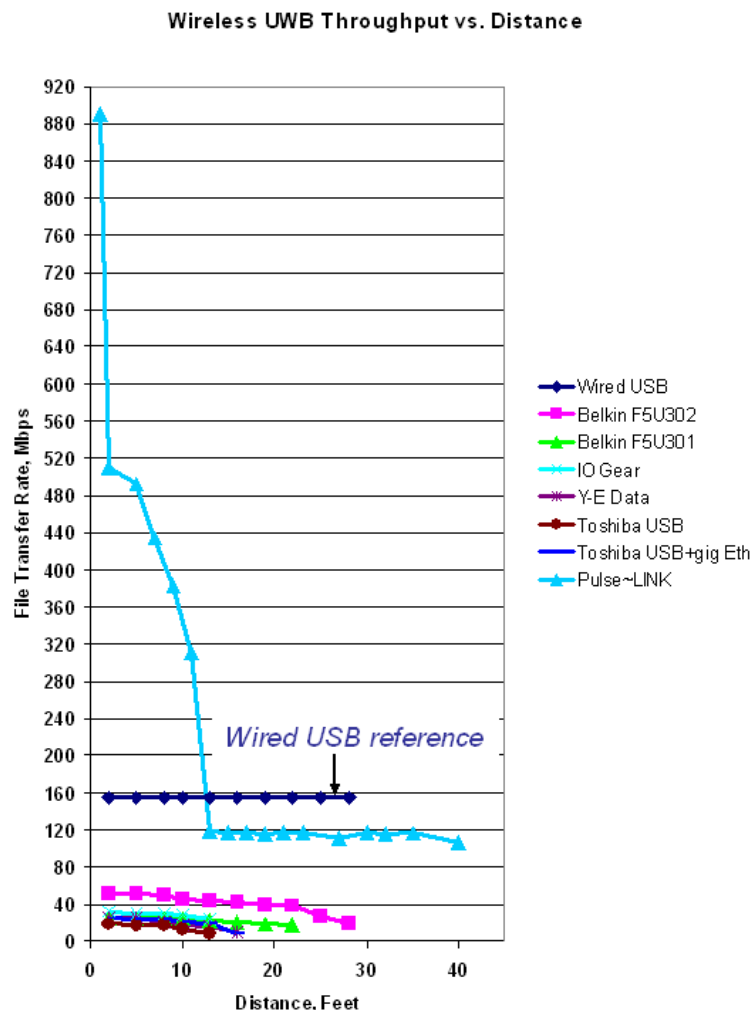


IEEE 802.15.3a – budoucnost

WiMedia Alliance (Intel) vs.
Freescale (Motorola)

UWB jako základ pro další vývoj:

- Wireless USB
- CableFree USB
- bezdrátový FireWire – IEEE 1394
- ECMA 368, 369 (WiMedia Alliance) (480 Mbit/s)
- Pulse~LINK CWave (890 Mbit/s, teoreticky až 1,35 Gbit/s)



IEEE 802.15.3 – UWB(UltraWideBand)

IEEE 802.15.3b

- Standard tvořící univerzální vrstvu přístupu k médiu (MAC) pro UWB technologie pro zachování zpětné kompatibility.

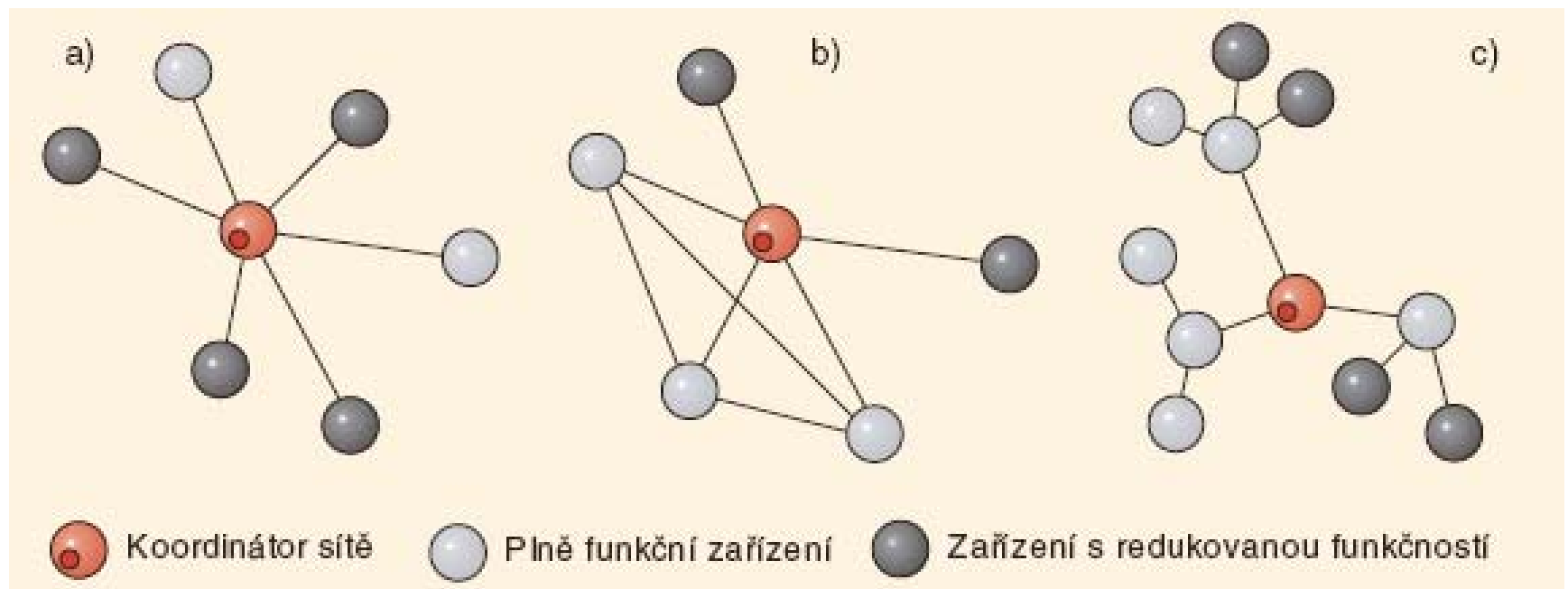
IEEE 802.15.3c

- Wireless HD (WiHD)
- WiMedia Alliance + další
- 60 GHz
- 2 ~ 3 Gbit/s (do budoucna 25 Gbit/s)
- Smart antény – NLOS
- zabezpečení proti pirátskému kopírování

IEEE 802.15.4 – ZigBee

- 3 bezlicenční pásma:
 - 2,4 GHz (celosvětově, 16 kanálů s odstupem 5 MHz, 240 kbit/s/kanál)
 - 868 MHz (Evropa, 1 kanál, 20 kbit/s)
 - 915 MHz (Amerika a Austrálie, 10 kanálů, 40 kbit/s/kanál)
- Dosah jednotky až desítky metrů, samokonfigurující síť s více skoky
- RFD (Reduced Functionality Device), FFD (Full Functional Device)
- Až 65 000 zařízení
- Velmi malá spotřeba energie, nízká cena

IEEE 802.15.4 – ZigBee



IEEE 802.20 – MBWA

MBWA – Mobile Broadband Wireless Access

- Mobile-FI
- Očekávané schválení – ?
- Do rychlosti 250 km/h
- Licenční pásmo pod 3,5 GHz
- Průměr buňky 16 km – 4 Mbit/s download / 800 kbit/s upload
- Rychlost uživatele má být minimálně 1 Mbit/s download a 300 kbit/s upload



Děkuji za pozornost !