



Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha



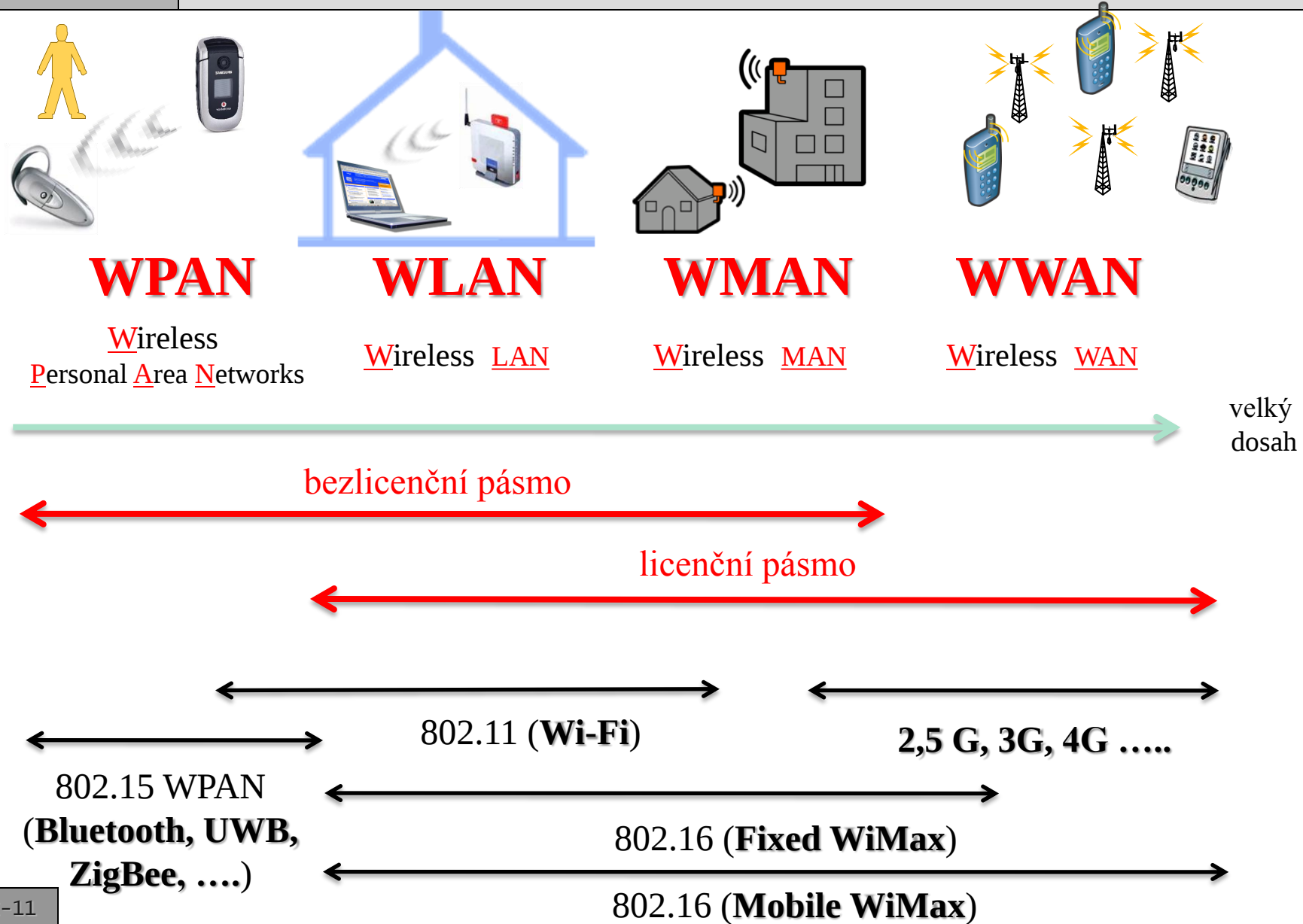
Lekce 11: bezdrátový broadband

J. Peterka, 2011

co je „bezdrátový broadband“ (wireless broadband)

- „bezdrátový“
 - použití bezdrátových (rádiových) forem přenosu
 - alternativa k „drátovému“ přenosu, který využívá drátových přenosových cest
- ... broadband
 - **správně: vysokorychlostní přenos**
 - jde hlavně o přenos dat, a to dostatečně vysokou rychlostí
 - **má smysl se ptát na:**
 - rychlost UP/DOWN
 - latenci (přenosové zpoždění, RTT)
 - ztrátovost paketů
 -
- mobilita není (nutnou) podmínkou
 - **stacionární (využití)**
 - terminál je vždy na jednom místě a nehýbe se
 - **nomadické (využití)**
 - terminál se může přemisťovat mezi různými lokalitami, ale během provozu je vždy na daném místě a nepohybuje se
 - **mobilní (využití)**
 - terminál se pohybuje a může komunikovat i za pohybu
 - **„pomalá“ mobilita**
 - například chůze či pomalá jízda
 - **„rychlá“ mobilita**
 - rychlá jízda, např. vlak, dálnice

jiný pohled



sítě WPAN (Wireless Personal Area Networks)

- sítě s velmi malým dosahem
 - **POS** (Personal Operating Space), do okruhu 10 metrů
 - slouží k:
 - propojování "drobných" zařízení mezi sebou
 - např. PDA - PDA
 - připojování periferií
 - hands-free sada k mobilu
 - mají typicky ad-hoc charakter
 - a dynamickou topologii
- technologie od ETSI:
 - **Hiper PAN**
 - High Performance Radio Personal-Area Network



- technologie od IEEE:
 - skupina IEEE 802.15
 - 802.15.1: **Bluetooth** (1.0, 2.0)
 - 802.15.2 kompatibilita BT s Wi-Fi
 - 802.15.3 High Data Rate WPAN
 - UWB, **UltraWideBand**
 - 802.15.4 Low Data Rate WPAN
 - **ZigBee**

Bluetooth



- bezdrátová rádiová technologie
 - určená pro nasazení „na krátkou vzdálenost“,
 - v rámci WPAN, resp. POS
- historie:
 - 1994: první práce 
 - projekt "MC Link" firmy Ericsson
 - přejmenováno na Bluetooth
 - podle dánského krále Haralda "Blåtand" Gormsena z 10. století
 - "Blåtand" = "opálený", nesprávně překládáno jako "modrozubý"
 - 1998: vznik Bluetooth SIG
 - Ericsson, Intel, IBM, Nokia, Toshiba
 - www.bluetooth.org
 - 1999: vztyčení runy v Lundu (Ericsson)
 - se zobrazením krále Haralda



- 2001: produkty jsou "mass market"
 - rychlost až 1 Mbit/s
- 2001: verze Bluetooth 1.1.
- 2004: verze Bluetooth 2.0
 - rychlost až 3 Mbit/s

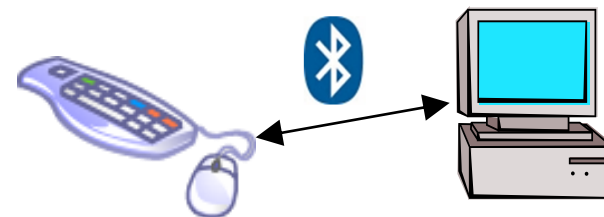
motivace pro Bluetooth

- snaha vytvořit jednotný standard pro bezdrátovou komunikaci na krátkou vzdálenost

- náhrada kabelů

- vzdálenost do 10 metrů
 - s možností rozšířit dosah až na 100 metrů

- šikovější alternativa k IrDA



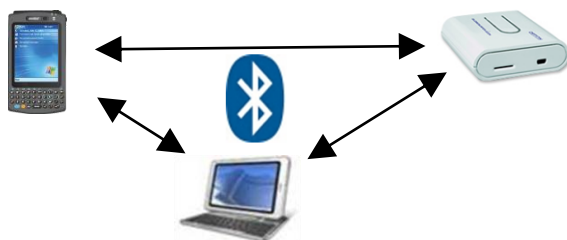
- scénáře využití:

- připojení periférií

- např. klávesnic, myši, head-setů, joysticků,
- k počítačům, PDA, mobilům

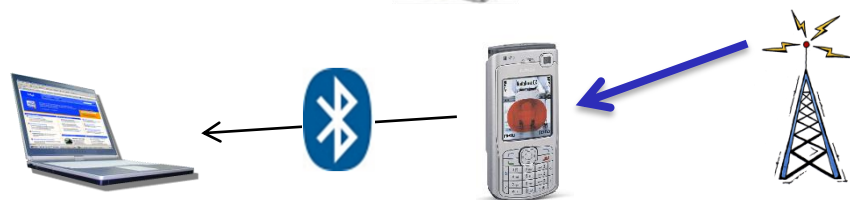
- realizace ad-hoc sítí

- vzájemné propojení uzlů v ad-hoc sítích
 - např. PDA-PDA, PDA-mobil, mobil-mobil



- propojení sítí (bridging)

- např. mobil se přes GPRS/UMTS atd. připojuje k Internetu, a počítač/PDA přes Bluetooth k mobilu a Internetu



požadavky na Bluetooth



- snadné nasazení
 - požadavek na použití bezlicenčního pásma 2,4 GHz
 - velká odolnost proti rušení
 - nutné kvůli využití bezlicenčního pásma
- provozní parametry:
 - co nejnížší spotřeba el. energie
 - co nejmenší rozměry
 - co nejnížší cena
 - za implementaci
- další požadavky:
 - podpora přenosu dat i hlasu
 - možnost peer-to-peer komunikace
 - mezi 2 zařízeními, bez prostředníka (přístupového bodu)
- řešení bylo inspirováno vznikajícím IEEE 802.11
 - které pro využití v rámci WPAN není moc vhodné
 - je "drahé"
 - je "velké" (čipy atd.)
 - je energeticky náročné
 - má příliš velkou spotřebu
 - je až zbytečně rychlé

vlastnosti Bluetooth

- využívá pásmo 2,4 GHz
 - rozděluje ho na 79 frekvenčních kanálů o šířce 1 MHz
 - kanál 0: 2402 MHz
 - kanál 78: 2480 MHz
- používá techniku Frequency Hopping Spread Spectrum
 - přeskakuje mezi frekvenčními kanály 1600x za sekundu
 - sekvence přeskoků je pseudonáhodná
 - určuje ji uzel v roli "master"
- pracuje na principu TDD (Time Division Duplex)
 - pro rozlišení mezi příjmem a vysíláním se používá dělení v čase
 - někdy vysílá, jindy přijímá, nikoli současně

třída zařízení	max. vysílací výkon	max. dosah
Class 1	10 až 100 mW	100 metrů (povinná regulace výkonu)
Class 2	0,25 až 2,5 mW	10 metrů
Class 3	max. 1 mW	1 metr

režim úspory napájení	chování uzlu
hold mode	zařízení přijímá jen "hlasovou komunikaci"
sniff mode	zařízení spí, ale periodicky se probouzí (každých 1.25 ms až 40.9 s)
parked mode	zařízení je "zaparkováno" (spí, ale master jej může vzbudit)

režimy přenosu (Bluetooth)



hlas



data



- **SCO** (Synchronous Connection Oriented)

- tzv. "**Voice Link**"
- 64 kbit/s, plně duplexní dvoubodový spoj, fungující na principu přepojování okruhů
- hlavně pro "hlasové" periferie, například pro komunikaci handsfree sad s mobilem

- **ACL** (Asynchronous ConnectionLess)

- tzv. "**Data Link**"
- až 433,9 kbit/s symetricky, nebo
- až 723,2/57,6 kbit/s asymetricky, na principu přepojování paketů
 - reálné rychlosti s uvážením režie
- point-to-point nebo point-to-multipoint
 - pro datové přenosy
 - nominální rychlost (bez režie): 1 Mbit/s

▼
má přednost

architektura Bluetooth sítí

- piconet

- nejmenší síť

- soustava uzlů, které se sjednotily na stejné posloupnosti přeskokování frekvencí

- piconet tvoří:

- 1x **Master**

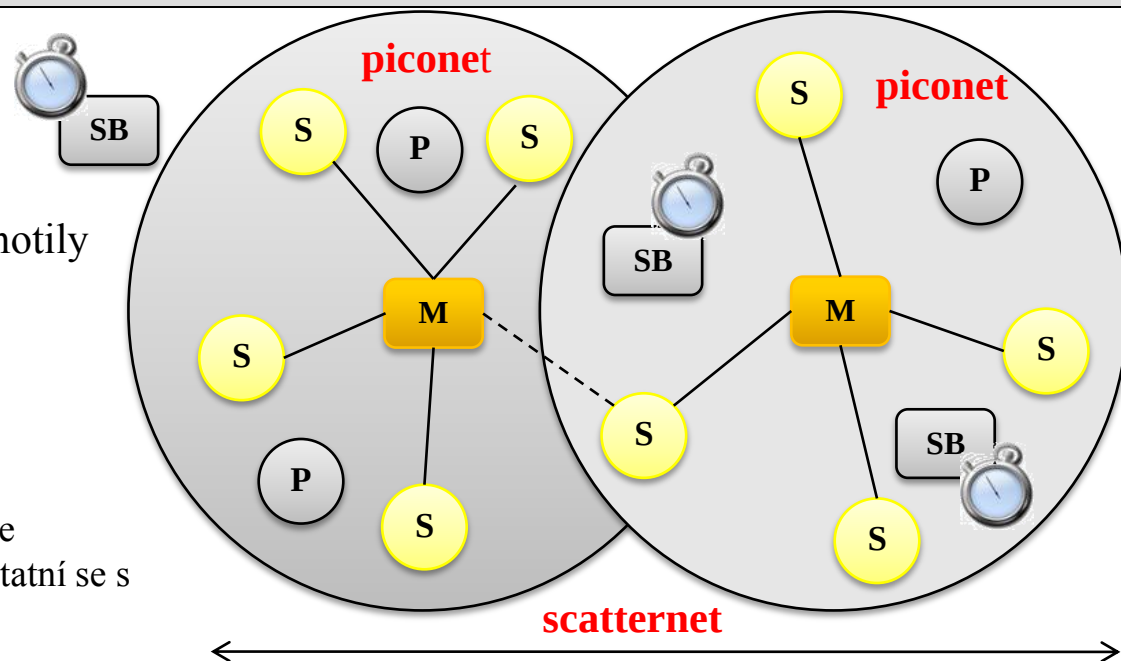
- uzel v roli "master" určuje posloupnost přeskoků, ostatní se s ním synchronizují

- nejvýše 7 uzlů v roli (**Active**) **Slave**

- spolu s Masterem jsou adresovány 3-bitovou adresou aktivních zařízení
 - » AMA, Active Member Address

- několik piconetů může být propojeno do většího celku, tzv. **scatternetu**

- jednotlivé piconety ve scatternetu mají vlastní posloupnosti přeskoků



- další uzly mohou být v režimu **Parked** (zaparkováno)

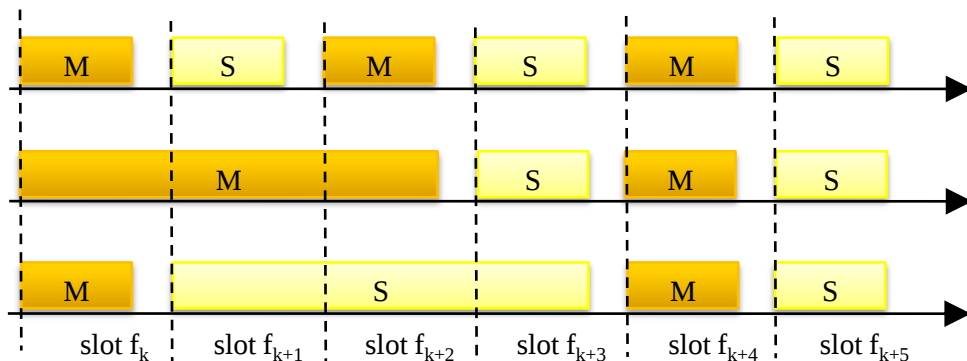
- jsou adresovány 8-bitovou adresou
 - PMA, Parked Member Address
 - master má možnost je vzbudit

- další uzly mohou být v režimu **Standby** (SB)

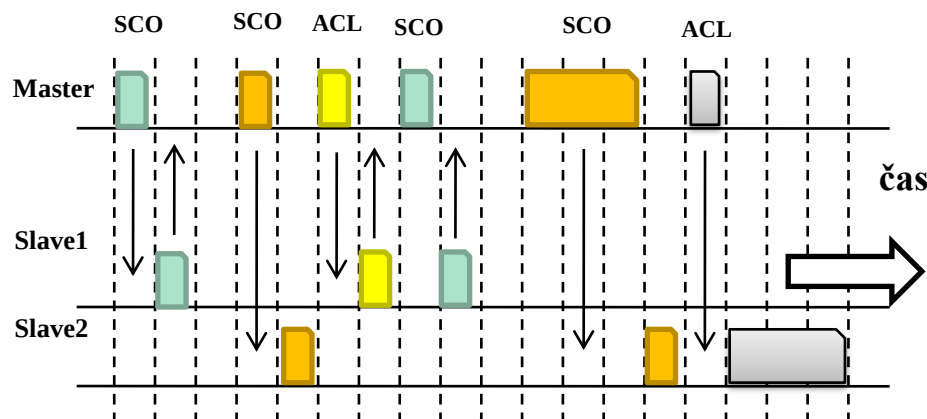
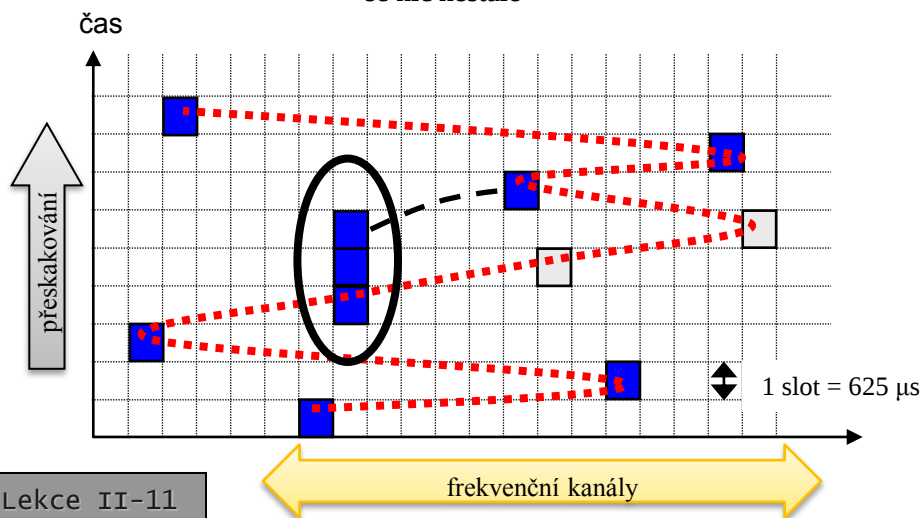
- nemají přidělenou žádnou adresu
 - master je nedokáže vzbudit, budí se samy
 - režim sniff mode

průběh komunikace

- 1600 přeskoků za sekundu
 - na každé frekvenci se uzly "zdrží" po dobu 625 μ s
 - jde i 1 slot
- data (pakety) se mohou přenášet v rámci 1, 3 či 5 slotů
 - pokud se přenáší v 3 či 5 slotech, pak během této doby vysílající nepřeskakuje
 - a pak přejde na takovou frekvenci, která původně vycházela
 - některé uzly nemusí vysílání přijímat, a pokračují v posloupnosti přeskoků jako kdyby se nic nestalo



- v jednotlivých časových slotech se mohou střídát různé druhy provozu
 - SCO (hlas, spojovaný přenos)
 - ACL (data, nespojovaný přenos)



další vývoj Bluetooth

- verze 2.0 (listopad 2004)
 - vylepšení datových přenosů
 - EDR, Enhanced Data Rate
 - nominálně až 3 Mbit/s
 - efektivně až 2,1 Mbit/s
 - menší spotřeba energie
- verze 2.1
 - další snížení spotřeby
 - vyšší bezpečnost
 - lepší párování zařízení, obnova symetrických klíčů
- další vývoj:
 - přidání broadcastu
 - vysílání ke všem příjemcům v dosahu
 - dosud jen unicast
 - aktivní správa topologie
 - řešení praktických situací, kdy vznikají různé (předem neplánované) topologie
 - možnost použití alternativních technik přenosu dat
 - mechanismy BT by se stále používaly například pro zjišťování existence uzlů, navazování spojení a párování
 - ale samotný přenos dat by se řešil jinak
- budoucí verze 3.0 (code name Seattle)
 - pro transport dat bude využívat technologii UWB
 - přesněji: její variantu WiMEDIA
 - možnost dosahovat rychlosti až 480 Mbit/s
 - ještě účinnější šetření energií
 - budou moci být konstruována zařízení s minimálními energetickými nároky

UWB (Ultra WideBand)

- cíl:

- nahradit rychlé drátové propojení na krátkou vzdálenost bezdrátovým

- například propojení multimediálních zařízení (kamer, přehrávačů apod.), disků, k počítačů
- na jednotky metrů

- dosáhnout rychlostí v řádu stovek Mbit/s

- např. 480 Mbit/s

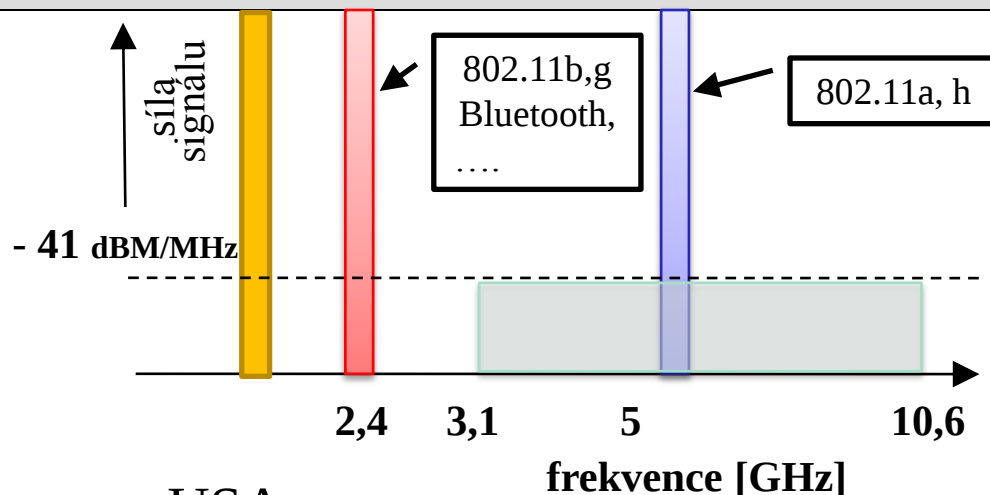
- princip technického řešení:

- využít velmi velkou šířku frekvenčního pásma

- více jak 500 MHz, třeba i v pásmech využívaných jinými technologiemi

- ale vysílat velmi slabě, tak aby to nerušilo jiné přenosy

- na malou vzdálenost to stačí



- v USA:

- rozhodnutí FCC z roku 2004 povoluje UWB v pásmu 3,1 až 10,6 GHz

- a s maximální "silou" -42,3 dBm/MHz

- v Evropě:

- Evropská komise vydala své doporučení v únoru 2007

- 4,8 až 6 GHz: - 42,3 dBm/MHz
- ostatní frekvence ještě slabší signál

- princip modulace v UWB:

- počtem/četností pulsů, velikostí pulsů atd.

- zkratka od:
 - Worldwide Interoperability for Microwave Access
 - nejde o žádné "WiFi na maximum"
- neformálně:
 - společné označení pro řadu technologií, které vychází ze standardů IEEE 802.16
- formálně:
 - jen to, co úspěšně prošlo testy sdružení WiMAX Forum
 - založené v červnu 2001
 - jde jen o nálepku, podobně jako u WiFi, kde testy provádí a nálepku uděluje WiFi Alliance
- definice WiMAX Forum:
 - WiMAX is ... *"a standards-based technology enabling the delivery of last mile wireless broadband access as an alternative to cable and DSL"*
 - tj.: bezdrátová konkurence kabelu a DSL, pro překlenutí poslední míle
 - dnes ještě: i konkurence mobilním sítím



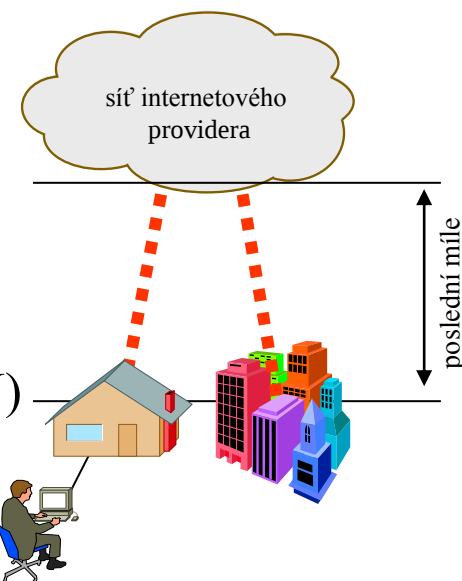
filosofie WiMAX vs. filozofie Wi-Fi



- Wi-Fi:
 - vznikla jako technologie **pro koncové uživatele**
 - pro nasazení v rámci "**posledního metru**"
 - typicky: indoor, uvnitř budov
 - v rámci bezdrátových lokálních sítí (sítí WLAN)
 - pro použití v bezlicenčním pásmu

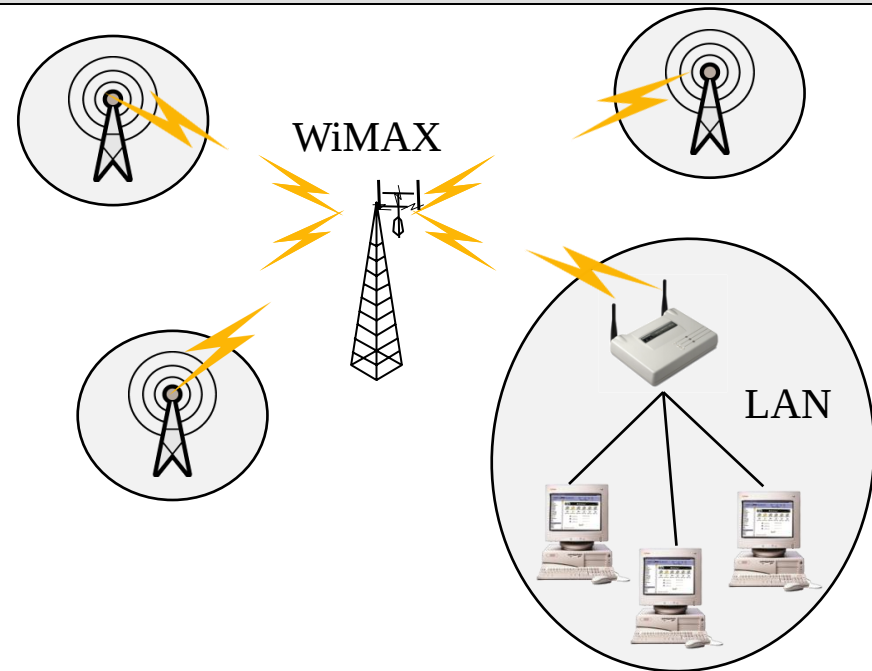
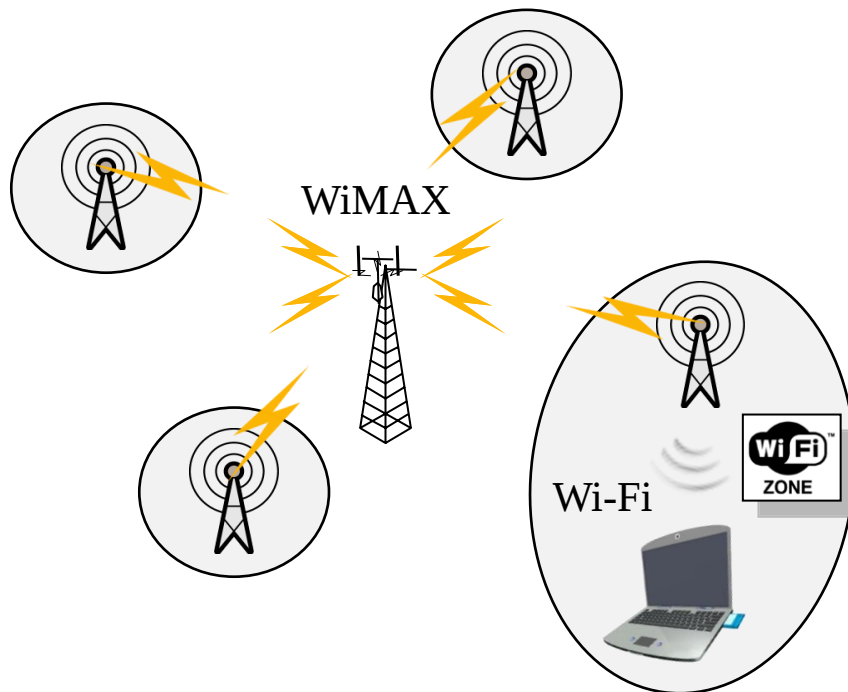
- WiMAX

- vznikl jako technologie **pro providery**
- pro nasazení v rámci "**poslední míle**"
 - převážně: outdoor, vně budov
 - v rámci bezdrátových metropolitních sítí (sítí WMAN)
- pro použití spíše v licenčním pásmu
 - ale i v bezlicenčním



scénáře nasazení WiMAX

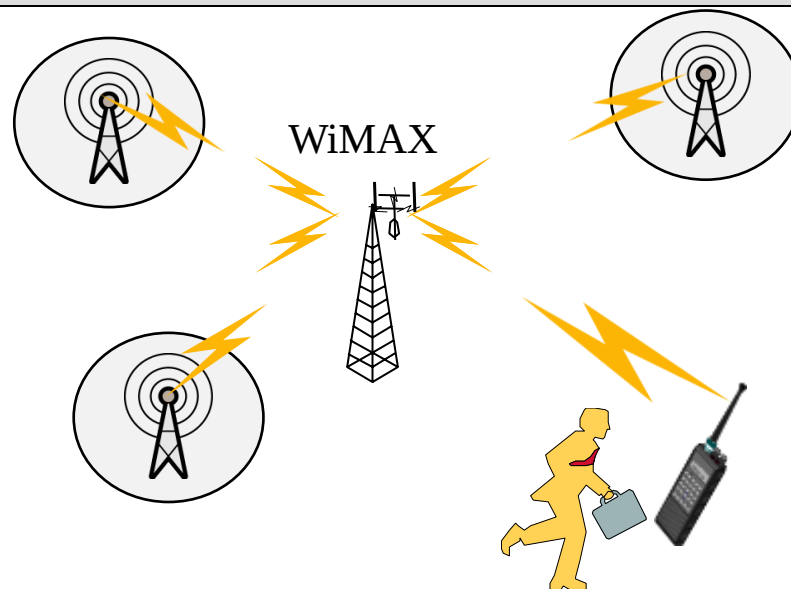
- pro "backhaul"
 - vytváření páteřních spojů do míst, kde je konektivita dále distribuována
 - například napojení Wi-Fi hotspotů na páteřní síť



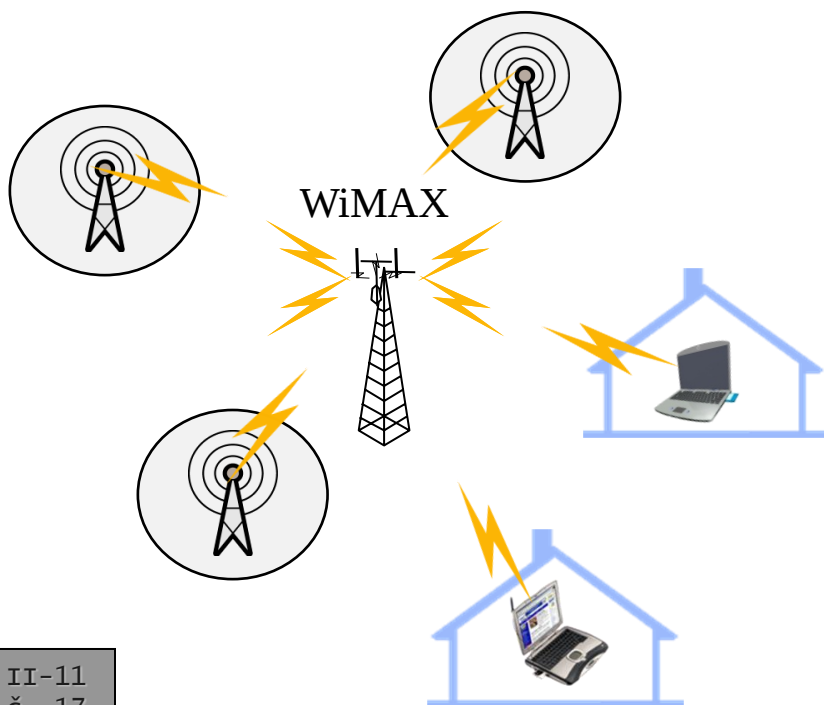
- pro připojení koncové sítě LAN
 - alternativa/náhrada DSL či kabelu
 - překlenutí poslední míle a napojení celé sítě LAN

scénáře nasazení WiMAX

- pro připojení "nomadického" koncového uživatele
 - WiMAX podporuje přímo koncové zařízení, používané uživatelem
 - uživatel se může přemísťovat
 - ale během komunikace se nepohybuje



- pro připojení plně mobilního uživatele (pouze "mobilní WiMAX")
 - WiMAX podporuje přímo koncové zařízení uživatele
 - uživatel může komunikovat i v době, kdy se pohybuje
 - pomalu rychle



standardizace WiMAXu

- standardizací se zabývá samostatná (specializovaná) pracovní skupina v rámci IEEE

ještě není
považováno za
WiMAX

- IEEE 802.16,
 - založená v roce 1999
 - pro standardizaci bezdrátových metropolitních sítí
 - sítí WMAN
- první standard (IEEE 802.16)
z roku 2002 se do praxe neprosadil
 - hlavně kvůli potřebě přímé viditelnosti
 - a kvůli použití "vysokých" frekvencí
 - které jsou více závislé na atmosferických podmínkách
 - další verze používaly pásmo 2 až 11 GHz

standard	IEEE 802.16
dokončen	2001 (schválen 8.3.2002)
frekvenční pásma	10 až 66 GHz
šířka frekv. kanálu	20, 25 nebo 28 MHz
max. rychlost	32 až 134 Mbit/s
dosah	1 až 3 míle (až cca 5 km)
podmínka	LOS (Line of Sight, přímá viditelnost)

- leden 2003: nový standard IEEE 802.16a
 - jiné parametry
 - frekvence, dosah, rychlost

standard	IEEE 802.16 - 2004
dokončen	2004
frekvenční pásma	2 až 11 GHz
šířka frekv. kanálu	max. 25 MHz
duplexnost	FDD nebo TDD
max. rychlost	až 75 Mbit/s
očekávaný dosah	až 30 mil (až cca 48 km)
reálný dosah	3 až 5 mil (cca 5 až 8 km)
umožňuje	NLOS (Non-Line of Sight, nemusí být přímá viditelnost)

- 2004: revize "D"
 - standard označován jako IEEE 802.16REVd, nebo jen jako **IEEE 802.16d**
 - dnes správně označováno jako **IEEE 802.16 – 2004**
 - hlavní změny:
 - jiné frekvence
 - nižší, menší závislost na atmosferických vlivech
 - nemusí být přímá viditelnost
- neformální označení:
 - "fixed WiMAX"**
 - nepředpokládá se mobilita uživatele
 - ten se může i přemísťovat, ale jen v rámci nomadicity
 - tj. během přemísťování nekomunikuje s WiMAX sítí

- 2005/2006: nový standard IEEE 802.16e
 - schválen v prosinci 2005, vydán v únoru 2006

standard	IEEE 802.16e - 2005
dokončen	2005/2006
frekvenční pásma	jen licenční, do 6 GHz
šířka frekv. kanálu	1,25 až 20 MHz
duplexnost	jen TDD
max. rychlost	až 30 Mbit/s (10 MHz kanál)
očekávaný dosah	až 3 míle (až cca 5 km)
umožňuje	mobilitu (rychlost pohybu až 150 km/h)
umožňuje	NLOS (Non-Line of Sight, nemusí být přímá viditelnost)

- neformální označení:
 - **mobile WiMAX**
 - předpokládá se mobilita uživatele
 - až do jízdy autem
 - 150 km/h, reálně jen 60 km/h
 - využívají se užší frekvenční kanály
 - a také nižší frekvence
 - jen do 6 GHz
- co muselo být vyřešeno:
 - rádiová komunikace za pohybu
 - kompenzace fyzikálních jevů při pohybu terminálu
 - předávání (handover) mezi základnovými stanicemi sítě

certifikace WiMAX

- podobný model jako u Wi-Fi:
 - existuje nezávislá organizace, založená výrobci, která testuje:
 - "conformance"
 - dodržování standardu
 - interoperability
 - vzájemnou interoperabilitu (schopnost spolupráce) různých zařízení od různých výrobců
- výsledkem úspěšných testů je známka/logo:
 - **WiMAX Forum Certified**
 - jiná označení nejsou od WiMAX Forum a nevypovídají o nezávislém otestování, např.
 - WiMAX-ready,
 - WiMAX-compliant
 - 802.16-compliant
- problémy certifikace:
 - dlouho nebyla spuštěna, nebylo kde testovat
 - až od roku 2006
 - proto se objevovala různá jiná označení, včetně
 - "pre-WiMAX"
 - testují se jen některá řešení pro WiMAX
 - na základě vybraných profilů, např.:
 - pro pásmo 2,5 a 3,5 GHz (licenční)
 - pro pásmo 5,8 GHz (bezlicenční)

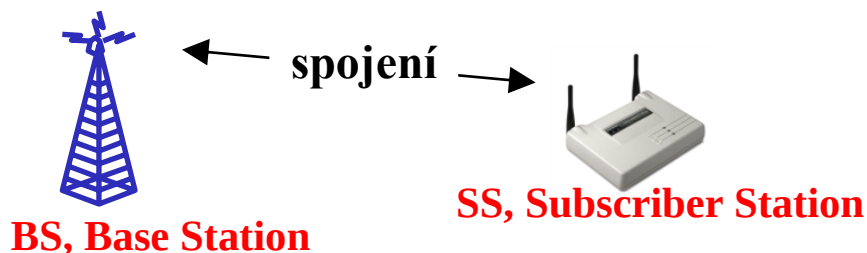
očekávané reálné parametry certifikovaných zařízení

"fixed WiMAX"	očekávané parametry
dosah	až 10 km
rychlost	40 Mbit/s na kanál

"mobile WiMAX"	očekávané parametry
dosah	až 3 km
rychlost	15 Mbit/s

není WiMAX jako WiMAX

- WiMAX není "jedna technologie"
 - ale je to několik různých technologií
 - které nejsou vzájemně kompatibilní
 - už jen kvůli tomu, že pracují v **různých frekvenčních pásmech**
 - » licenčních i bezlicenčních
 - používají **různě široké frekvenční kanály**
 - dopady na certifikaci:
 - jsou definovány konkrétní **profily**,
 - pro různá frekvenční pásma a další parametry
 - certifikuje se vůči těmto profilům
 - příklad: zařízení certifikovaná podle různých profilů nejsou vzájemně kompatibilní a interoperabilní
- společné vlastnosti WiMAX technologií
 - používají centralizované řízení
 - o tom, kdo a kdy bude komunikovat, rozhoduje centrální autorita
 - základnová stanice
 - dotazuje se stanic, zda chtějí něco přenést
 - žádný prostor pro soutěžení stanic
 - předpokládají pouze spojovaný způsob komunikace
 - terminál (**SS, Subscriber Station**) může komunikovat až tehdy, když od základnové stanice (**BS, Base Station**) dostane přidělený kanál
 - podporují QoS
 - díky spojovanému charakteru komunikace může být QoS vztažena k jednotlivým spojením



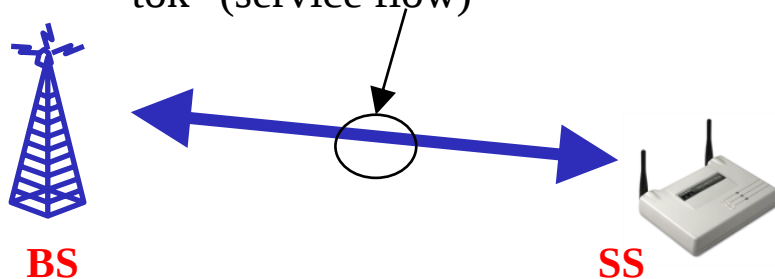
fyzická a linková vrstva WiMAX

- PHY: "fixed" varianta
 - varianta 802.16(d)-2004:
 - používá OFDM
 - 256 dílčích nosných
 - párové nebo nepárové pásmo
 - FDD nebo TDD
- PHY: "mobile" varianta
 - varianta IEEE 802.16e-2005
 - používá SOFDMA
 - Scalable Orthogonal FDMA
 - až 2048 dílčích nosných
 - kvůli více dynamickému přizpůsobování šířce frekvenčního kanálu
 - volí různé varianty kódování, podle podmínek přenosu
 - 64 QAM, 16 QAM, BPSK
 - jen nepárové pásmo
 - technika TDD
 - umožňuje využití techniky MIMO
 - "více antén"
- MAC:
 - obsahuje řadu "convergence layers"
 - řeší přizpůsobení (zapouzdření paketů/rámců) pro Ethernet, ATM, IP atd.
 - zajišťuje šifrování přenášených dat a výměnu klíčů
 - používá DES a AES
 - zajišťuje řízení komunikace
 - zprostředkovává šetření energií
 - řídí přechody stanic do stavu **sleep mode** a **idle mode**
 - u "mobilního" WiMAXu



QoS ve WiMAX

- WiMAX je velmi flexibilní v tom, jak hospodaří s celkovou přenosovou kapacitou, kterou má k dispozici
 - kolik má frekvenčních kanálů a jak jsou široké
- o všem rozhoduje základnová stanice (BS)
 - může přidělit/vyhradit určitou kapacitu pro koncovou stanici, nebo i pro jednotlivá spojení
 - v terminologii WiMAX: spojení = "tok" (service flow)



- každé spojení (service flow) má přiřazenu třídu QoS
 - **UGS** (Unsolicited Grant Service)
 - obdoba režimu CBR u ATM, je vyhrazena konstantní kapacita
 - pro realizaci spojů T1/E1
 - **rtPS** (Real-time Polling Service)
 - obdoba režimu VBR u ATM
 - "přenos ihned dostane, o co si řekne"
 - pro VOIP, MPEG Video
 - **nrtPS** (Non-real-time Polling Service)
 - obdoba režimu ABR
 - je garantována minimální kapacita
 - **BE** (Best Effort)
 - není garantováno nic

využití WiMAX

- jde o vyzrálejší technologii než Wi-Fi
 - umožňuje poskytovat služby s garantovanou kvalitou
 - nejen datové služby, ale také například hlasové
 - je určena pro poskytovatele
 - a služby poskytované jiným poskytovatelům
 - v rámci backhaul (páteřní spoje)
 - nebo přímo koncovým uživatelům
 - pokud jejich zařízení podporují WiMAX
- posouvá se od čistě "fixní" k "fixní + mobilní" variantě
 - bude konkurovat nejen ostatním "pevným" technologiím, ale i těm mobilním
 - jako 3G, LTE

názor: je to technologie ze světa počítačů, která může proniknout do světa spojů a konkurovat zdejšími technologiím



- vývoj koncových zařízení (CPE, Customer Premises Equipment):
 - **zařízení s vnějšími anténami**
 - podobně jako pro satelit
 - **vnitřní (indoor) zařízení s integrovanými anténami**
 - WiMAX modem
 - **WiMAX rozhraní zabudované přímo v zařízeních typu notebooků, PDA atd.**

Intel: do roku 2008 bude 14 milionů notebooků mít zabudovanou podporu mobilního WiMAXu



certifikační vlny pro WiMAX

Datum		Podporovaná funkčnost
802.16-2004		
1. vlna Air protocol	1. čtvrtletí/ 2006	interoperabilita rádiového rozhraní
2. vlna Outdoor services	1. pololetí/2006	Outdoor CPE, fixní služby s QoS, bezpečnost, vyspělé radiové funkce
3. vlna Indoor services	2. pololetí/2006	Indoor CPE + PCMCIA karty v pevných a nomadických sítích
802.16e-2005		
3. vlna Portable services	1. čtvrtletí/ 2007	handoffs, základní mobilita
4. vlna Mobile services	2007	plná mobilita



WiBRO (Wireless Broadband)

- technologie, příbuzná (mobilnímu) WiMAXu
 - spuštěná v Jižní Koreji do řádného komerčního provozu v červnu 2006
 - pracuje v pásmu 2,3 -2,4 GHz
 - používá frekvenční kanály o šířce 8,75 MHz
 - a techniku TDD (Time Division Duplex)
 - agregovaná kapacita na základnovou stanici: 30 až 50 Mbit/s
 - dosah 1 až 5 km
 - podpora mobility až do rychlosti 120 km/h
 - záměr: zrychlit až na 100 Mbit/s na uživatele
- využití:
 - hlas, data (vč. Internetu) a multimediální služby
 - mobilní TV
- stanovisko WiMAX Forum:
 - WiBRO je jméno služby, realizované na technologii Mobile WiMAX
 - na IEEE 802.16e-2005
 - "jde o Korejskou implementaci mobilního WiMAXu"
 - představuje jeden z profilů mobilního WiMAXu

ve "zbytku světa" se masovější nasazení mobilního WiMAXu se očekává v roce 2008

IEEE 801.20 (MBWA, MobileFi)

- na standardu pro mobilní broadband pracuje v rámci IEEE také skupina 802.20
 - byla založena v roce 2002
 - ještě dříve, než IEEE dala zelenou pro mobilní WiMAX!!!
- cíle:
 - konkurence (klasickým) mobilním sítím 2,5 G a 3G
 - pro operátory, kteří by teprve začínali
 - tj. bez nutnosti nějak navazovat na již vlastněné a používané mobilní sítě !!!
 - dosáhnout "auto-mobility"
 - možnost komunikovat do rychlosti 250 km/h
- řešení začíná "na zelené louce"
 - není vázáno na to, co vzniklo v rámci 802.16 (WiMAX)
- problém:
 - práce se "zasekly" a moc nepokračují
 - výsledný standard je v nedohlednu
- představa o technickém řešení:
 - využití licenčních frekvenčních pásem pod 3,5 GHz
 - tj. nižších než WiMAX
 - NLOS (Non Line of Sight)
 - tj. přímá viditelnost není podmínkou
 - různě široké frekvenční kanály
 - 1,25 MHz až 40 MHz
 - techniky TDD i FDD
 - pro rozlišení směrů komunikace
 - spektrální účinnost alespoň 1 bps/Hz
 - na frekvenční rozsah 1 Hz by měla připadnout rychlost nejméně 1 bit/s
 - rychlost: 1024/300 kbit/s při použití frekvenčních kanálů 1,25 MHz
 - spektrální účinnost 1,0592 bps/Hz
 - použití technik OFDMA
 - ale uvažuje se i o CDMA na uplinku
 - přenosy na principu přepojování paketů
 - nikoli přepojování okruhů
 - všechny datové služby IP-based
 - na základě protokolu IPv4 i IPv6

srovnání

	používané frekvence	šířka frekvenčního kanálu	max. přenosová rychlost	charakter služeb	spektrální účinnost
802.16e-2005 (mobile WiMAX)	licenční, do 6 GHz	1,25 až 20 MHz	až 30 Mbit/s DL	na bázi přepojování paketů, IP-based	1,10 bps/Hz
802.20 (MBWA)	licenční, pod 3.5 GHz	méně než 5 MHz (typicky 1.25 MHz)	1 Mbit/s (DL), 300 Kbit/s (UL)	na bázi přepojování paketů, IP-based	0.8 až 1.0 bps/Hz.
2.5G (typicky)	licenční, 800 až 1900 MHz.	méně než 5 Mhz	40 Kbps až 2.5 Mbps (DL)	přepojování okruhů i přepojování paketů	0.3 až 0.6 bps/Hz.
3G (typicky)	licenční, do 2.7 GHz.	5 Mhz	1 Mbps a výše (DL)	přepojování okruhů i přepojování paketů	0.78 až 0.93 bps/Hz

802.22 WRAN

- **WRAN**

- **Wireless Regional Area Networks**

- "Regional" je větší než "Metropolitan"

- IEEE 802.22:

- nejmladší pracovní skupina v rámci IEEE
 - založena v roce 2004

- cíl:

- využít pro datový přenos momentálně volné TV kanály

- v pásmu UHF/VHF
 - tj. 54 až 862 MHz

- 1 TV kanál má šířku:

- v USA: 6 MHz (NTSC)
 - v Evropě: 8 MHz (PAL)
 - snaha přenést v rámci 1 kanálu 19 Mbit/s na 30 km



- výchozí teze:

- mnohé frekvence jsou sice přiděleny, ale (v daném místě a čase) nejsou fakticky využívány

- snaha o jejich (znovu) využití
 - anglicky: reuse
 - "frekvenční oportunismus"

- jak toho dosáhnout?

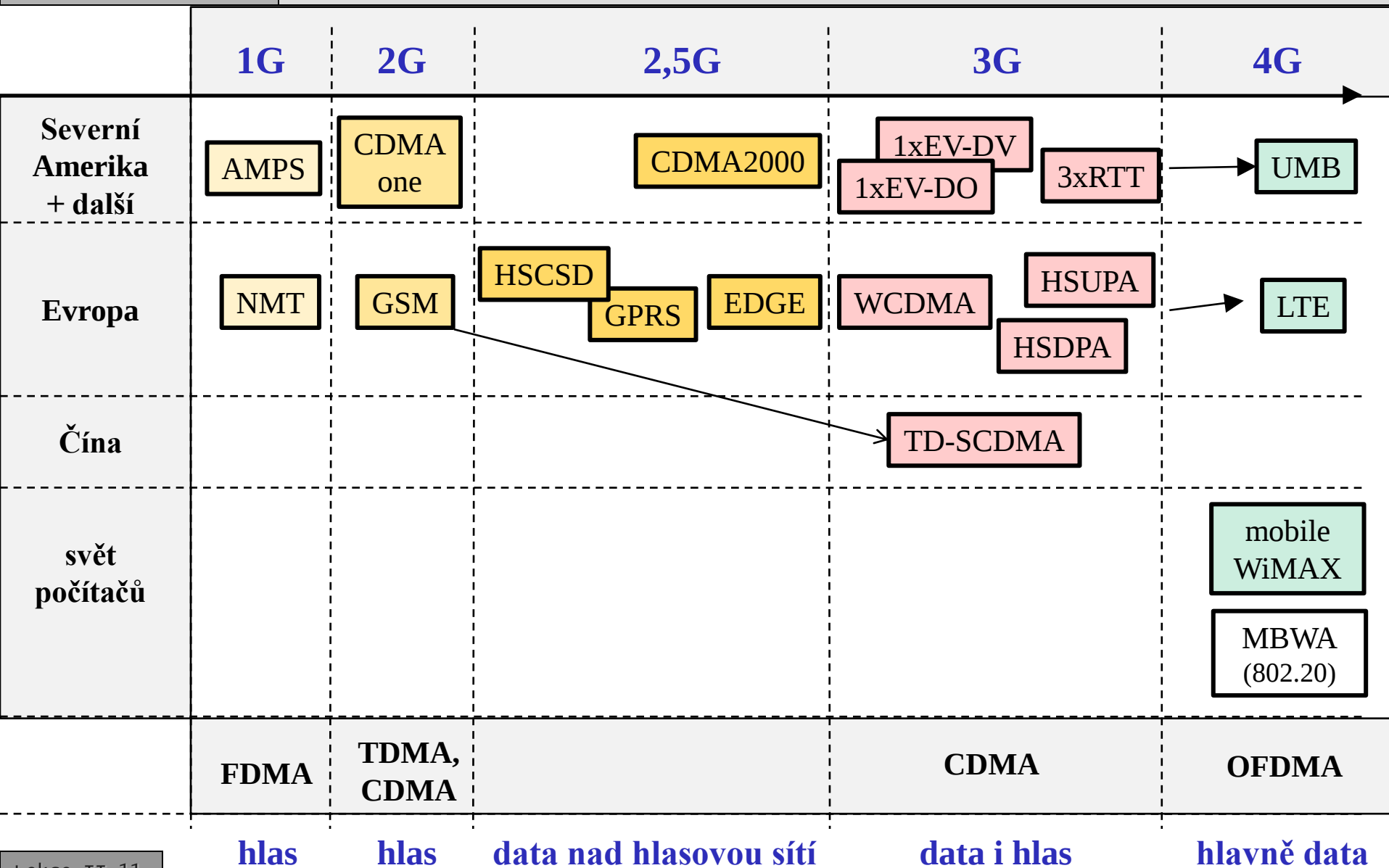
- pomocí "cognitive radio"

- takové rádio, které nemá pevně definované frekvence a další parametry fungování, ale samo si je volí podle momentální situace, kterou neustále zjišťuje

- předpokládá se architektura Point-to-Multipoint

- základnové stanice a koncová zařízení
 - monitoring volných frekvencí a dalších parametrů je hlavně na základnových stanicích

vývoj mobilních technologií



IMT2000 a 3GPP



- 1985: začínají práce na studii IMT2000

– IMT: International Mobile Telecommunications

– co znamená "2000"?

- předpokládaný rok spuštění
- plánovaná přenosová rychlost (2000 kbit/s)
- plánované použití frekvencí v pásmu 2000 MHz

– iniciováno a řízeno ITU

- Mezinárodní telekomunikační unie
- v Evropě mělo standardizaci na starosti ETSI
 - European Telecommunications Standards Institute



- 1998: vzniká 3GPP

• Third Generation Partnership Project, členy hlavně firmy

– důvod vzniku:

- práce na IMT 2000 probíhaly příliš pomalu

– úkol:

- dokončit vývoj a technické specifikace (místo ETSI)

– výstup:

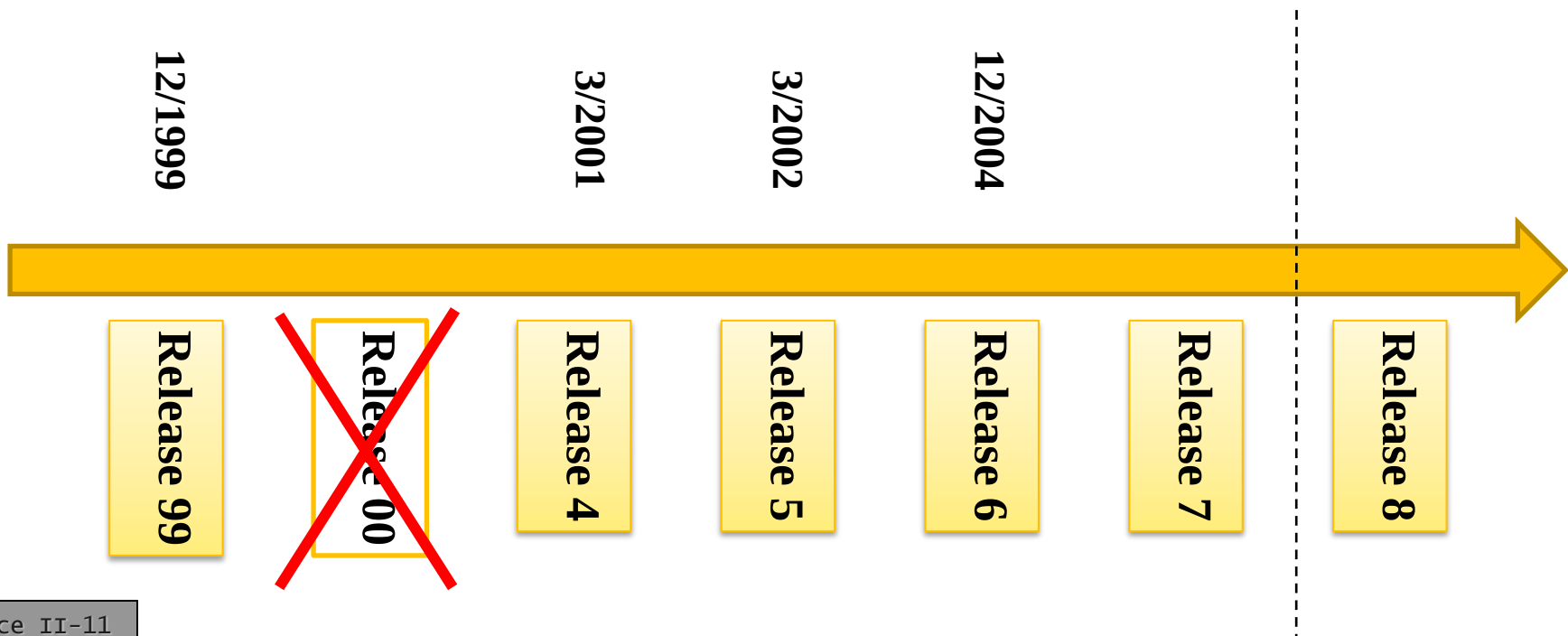
- "větev WCDMA"

	1G	2G	2,5G	3G
Severní Amerika + další	AMPS	CDMA one	CDMA2000	1xEV-DV 1xEV-DO 3xRIT
Evropa	NMT	GSM	HSCSD GPRS EDGE	WCDMA HSDPA HSUPA

- 1999: vzniká 3GPP2

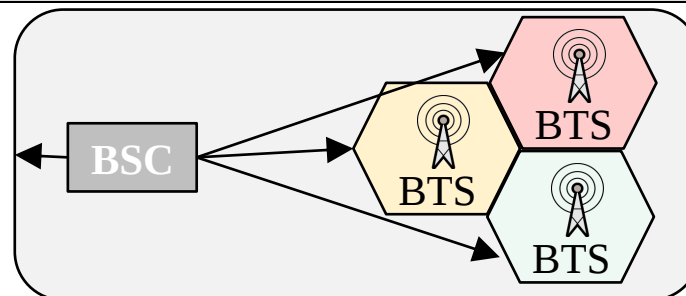
– zaměření na "větev CDMA2000"

- Universal Mobile Telecommunications System
 - označení pro jednu z 3G technologií
 - tu "evropskou", založenou na W-CDMA
 - původně mělo vyvíjet ETSI
 - ale ve skutečnosti standardizovalo sdružení 3GPP
- standardizace UMTS od 3GPP se postupně vyvíjí

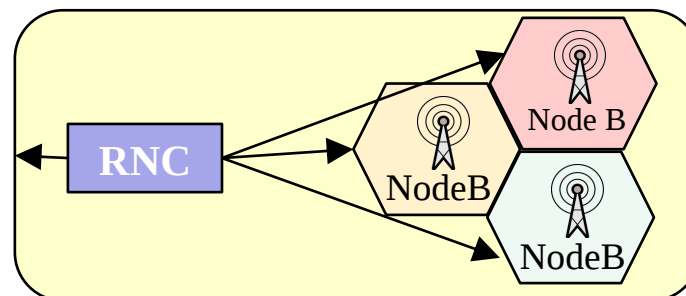


3GPP Release99

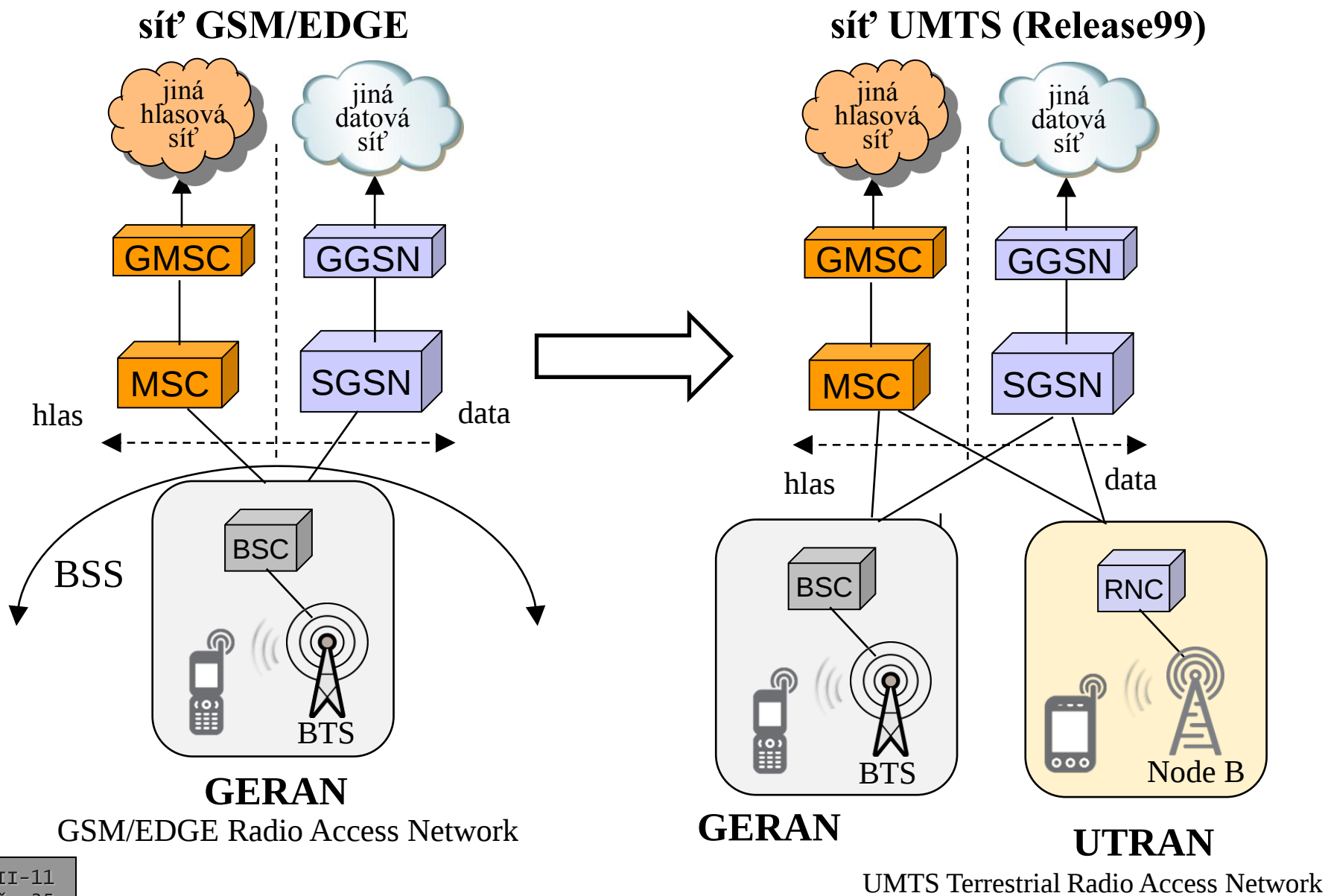
- přidává novou rádiovou (přístupovou) síť: **UTRAN**
 - UMTS Terrestrial Radio Access Network
 - využívá frekvenční kanály o šířce 5 MHz
 - takové, jaké má příslušný operátor k dispozici
 - » v rámci své 3G licence
 - používá W-CDMA
 - "W" kvůli šířce 5 MHz, CDMA kvůli druhu multiplexu
 - používá techniku FDD
 - Frequency Division Duplexing
 - » vyžaduje párové frekvenční pásmo !!!
 - má větší kapacitu pro hlasové i datové přenosy
 - zbytek sítě zůstává beze změny
 - využívají se páteřní prvky, zřízené kvůli GPRS/EDGE



- původní přístupová síť GSM/EDGE: **GERAN**
 - základnové stanice: **BTS**
 - Base Transceiver Station
 - několik BTS ovládá řadič: **BSC**
 - Base Station Controller
 - dohromady tvoří: **BSS**
 - Base Station Subsystem
- v rámci UTRAN:
 - základnová stanice: **Node B**
 - několik "NodeB" ovládá: **RNC**
 - Radio Network Controller



UMTS Release99



UMTS Release99

- UMTS Release99 je verze, na které mobilní operátoři obvykle začínají provozovat své 3G/UMTS sítě
 - v ČR jen Eurotel/TO2 CR
 - T-Mobile zvolil jiné řešení,
 - na principu TDD
 - Vodafone dosud nespustil
- v ČR byly přiděleny 3 licence pro 3G/UMTS, včetně přidělu frekvencí
- původní předpoklad:
 - již Release99 nabídne pro přenosy dat původně slibované rychlosti:
 - stacionární terminál: až 2 Mbit/s
 - při pomalém pohybu: 384 kbit/s
 - např. chůze
 - při rychlém pohybu: 144 kbit/s
 - realita: i pro stacionární terminály je k dispozici pouze 384 kbit/s
 - a to jen v optimálním případě, za dobrých podmínek pro přenos

	uděleno	cena	párové pásmo (pro FDD)	nepárové pásmo (pro TDD)
T-Mobile	12/2001	3,861 mld. Kč	1920-1940 MHz a 2110-2130 MHz	1900-1905 MHz
Eurotel (TO2 CR)	12/2001	3,535 mld. Kč	1940-1960 MHz a 2130-2150 MHz	1905-1910 MHz
Oskar (Vodafone)	2/2005	2 mld. Kč	1960-1980 MHz a 2150-2170 MHz	1910-1915 MHz

tabulka: licenční přiděly pro mobilní operátory v ČR

HSPA = HSDPA + HSUPA

- původní sliby UMTS o rychlosti 2 Mbit/s nebyly splněny
 - realita je max. 384 kbit/s
 - pro W-CDMA s FDD
- snaha:
 - udělat "upgrade", který by slibovaných rychlostí dosáhnul
 - jakási "forsáž" celé UMTS sítě, aby dosahovala vyšších rychlostí
- realizace:
 - v podobě dvojice technologií HSDPA a HSUPA
 - společně se označují HSPA (High Speed Packet Access)
 - ale operátoři je mohou nasazovat nezávisle na sobě
 - a také tak činí
 - HSDPA je obsažena v 3GPP Release 5
 - HSUPA v 3GPP Release 6

- **HSDPA**

- High Speed **Downlink** Packet Access
- v ČR nasadil v dubnu 2006 Eurotel (dnes O2)
 - nabízí až 1 Mbit/s
- jde o technická vylepšení rádiového přenosu
 - která dosahují výrazného zvýšení přenosové rychlosti
 - spektrální efektivnost vyšší o 300%
- ale jen na downlinku !!!
 - nemění rychlosti uplinku
- existuje více verzí HSDPA

HSDPA	max. rychlost downlinku
kategorie 1-2	až 1,2 Mbit/s
kategorie 3-4	až 1,8 Mbit/s
kategorie 5-6	až 3,6 Mbit/s
kategorie 7-8	až 7,2 Mbit/s
kategorie 9	až 10,2 Mbit/s
kategorie 10	až 14,4 Mbit/s

HSPA = HSDPA + HSUPA

- **HSUPA**

- High Speed Uplink Packet Access
- dosahuje vyšších rychlostí na uplinku
 - skrze technická vylepšení rádiového přenosu
 - vyšší spektrální efektivnost
 - o 80%

- v ČR zatím nikdo nenasadil

HSUPA	max. rychlost uplinku
Category 1	0.73 Mbit/s
Category 2	1.46 Mbit/s
Category 3	1.46 Mbit/s
Category 4	2.00 Mbit/s
Category 5	2.93 Mbit/s
Category 6	5.76 Mbit/s

- **HSPA+**

- někdy označováno také jako HSPA Evolution
- připravované řešení
 - bude součástí 3GPP Release 7
- dále zvyšuje rychlosti:
 - až na 42Mbit/s na downlinku
 - až na 11 Mbit/s na uplinku
- snaha "maximálně vyždímat" techniku CDMA
 - než dojde k přechodu na OFDMA
- možnost paketového přenosu i pro hlasové služby
- snaha využití techniky MIMO
- již existují první experimentální prototypy
 - ale zatím není standardizováno

LTE, Long Term Evolution

- další vývojová fáze
3GPP/UMTS
 - zatím ve stádiu příprav
 - a vývoje prototypů
 - dokončení a standardizace se předpokládá do roku 2008
 - nasazení kolem roku 2010
- cíle LTE:
 - rychlost downlinku: 100 Mbit/s
 - rychlost uplinku: 50 Mbit/s
 - latence: na úrovni 10 ms
 - možnost využití frekvenčních kanálů různé šířky
 - od 1,25 MHz do 20 MHz
 - WCDMA vždy jen 5 MHz
- hlavní změny:
 - ústup od CDMA, přechod na OFDMA
 - umožňuje efektivněji využít dostupné frekvenční pásmo
 - lze adaptivně modulovat jednotlivé dílčí nosné
 - využití techniky MIMO
 - "více antén", využití různých odrazů
 - systém "chytrých antén"
- SAE (System Architecture Evolution)
 - komplementární řešení k LTE
 - mění páteřní část mobilní sítě
 - na čistě paketovou a IP-based

- někdy se lze setkat také s názvy jako:
 - HSOPA (High Speed OFDM Packet Access)
 - Super 3G

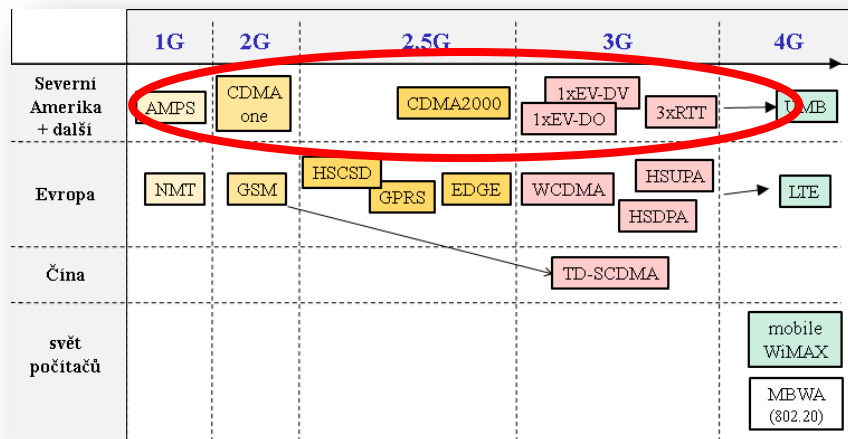
srovnání

	EDGE	WCDMA	HSPA	HSPA+	LTE
latence	200 ms	150 ms	50 ms	25 ms	10 ms
max. rychlost	220/200 kbit/s	384/384 kbit/s	14,4/5,76 Mbit/s	42/11 Mbit/s	100/50 Mbit/s
rádiová síť	na bázi BSC	na bázi RNC	na bázi RNC	na bázi RNC	plochá
rádiové přenosy	8PSK	WCDMA	WCDMA	WCDMA	OFDM/SC-FDMA
frekv. kanály	200 kHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	1,25 až 20 MHz
služby	CS a PS	CS a PS	+ rychlý PS	+ rychlý PS	pouze PS, VOIP
standard obsažen v:		Release99	Release 5+6	Release 7	Release 8

CS: Circuit Switching, přepojování okruhů
PS: Packet Switching, přepojování paketů

HSPA a HSPA+ mají charakter nadstavby nad WCDMA,
LTE nahrazuje WCDMA

"vývojová linie CDMA"



- v USA firma Qualcomm vyvinula řešení na bázi CDMA
 - standardizované jako IS-95
 - Interim Standard 95
 - obchodní značka: **cdmaOne**
 - jde o digitální 2G řešení
 - pro hlas i data

- 3G nástupcem cdmaOne je technologie **CDMA2000**
 - standardizovaná sdružením 3GPP2
 - používá frekvenční kanály o šířce 1,25 MHz
- základní varianta CDMA2000:
 - označovaná: **1X, 1xRTT, IS2000**
 - 1x Radio Transmission Technology
 - používá 1 frekvenční kanál
 - zdvojnásobuje kapacitu oproti cdmaOne
 - max. rychlost na downlinku 307 kbit/s
 - na uplinku 153 kbit/s
 - oficiálně jde o 3G technologii
 - fakticky spíše 2,5 G
 - nabízí ještě hlasové služby
 - na principu přepojování okruhů



další vývoj CDMA2000 (Evolution)

- **CDMA2000 1xEV-DO**

- původně znamenalo:
 - Evolution – Data Only
 - ale "only" nepůsobilo dobře
- dnes se vykládá jako:
 - **Evolution – Data Optimized**
- jde o rozšíření, optimalizované pro potřebu přenosu dat
 - nikoli hlasu
 - multimediální služby (hlas, video) se realizují nad IP (VOIP), s využitím podpory QoS
- stále používá frekvenční kanály o šířce 1,25 MHz
 - stále jde o rozšíření verze 1xRTT

verze	max. DL	max. UL
Revision 0	2,4 Mbit/s	153 kbit/s
Revision A	3,1 Mbit/s	1,8 Mbit/s
Revision B	4,9 Mbit/s	1,25 Mbit/s

- **CDMA 1xEV-DV**

- Evolution – Data & Voice
 - DL: 3,1 Mbit/s, UP: 1,8 Mbit/s
- kromě přenosu dat (D) zvládá také přenos hlasu (V)
 - pro nezáměr operátorů byl další vývoj tohoto řešení zastaven

- **CDMA 3xRTT**

- snaha využít širší frekvenční kanály
 - konkrétně 5 MHz
 - "o něco více" než 3x 1,25 MHz
- CDMA 3xEV-DO, Rev. B:
 - až 9,3 Mbit/s na downlinku

v ČR nasadil	
Eurotel (O2)	1x EV-DO Rev. 0
U:fon	1x EV-DO Rev. A

UMB (Ultra Mobile Broadband)

- projekt 3GPP2, jak dále vylepšit CDMA2000 a udělat z ní 4G technologii
 - obdoba směřování k LTE v rámci 3GPP
- cíl, plán:
 - přes 275 Mbit/s na downlinku, přes 75 Mbit/s na uplinku
 - podpora různě širokých frekvenčních kanálů
 - 1,25 až 20 MHz
 - použití OFDMA
 - místo WCDMA, zvláště kvůli různě širokým frekvenčním kanálům
 - princip FDD
 - využívá párové frekvenční pásmo
 - využití techniky MIMO
 - "více antén", chytré anténní systémy
 - čistě IP služby a čistě IP síť
 - podpora různých topologií rádiové přístupové sítě
- předpoklad:
 - dokončení vývoje v roce 2007,
 - nasazení v roce 2009

