

Další bezdrátové sítě (BT, WiMAX)

Tato prezentace se zabývá dvěma dalšími významnými bezdrátovými technologiemi nad rámec běžně probírané Wi-Fi (802.11). První z nich je **Bluetooth (BT)**, zaměřený zejména na osobní sítě (PAN) a komunikaci mezi zařízeními na kratší vzdálenosti. Druhou technologií je **WiMAX**, dříve vnímaná jako řešení pro bezdrátové metropolitní sítě (MAN) a dálkové připojení k internetu. Vysvětlíme jejich základní principy, využití a porovnáme je s Wi-Fi i mezi sebou.

Úvod do bezdrátových sítí mimo Wi-Fi

Rozmanitost bezdrátových standardů

- Vedle Wi-Fi (IEEE 802.11) existuje celá škála dalších standardů pro různé účely a rozsahy.

Význam Bluetooth a WiMAX

- **Bluetooth:** krátký dosah, osobní bezdrátové sítě, propojení sluchátek, mobilů, příslušenství.
- **WiMAX:** bezdrátový širokopásmový přístup, alternativní metoda k DSL či kabelovému internetu v metropolitních oblastech.

Bluetooth – Základní informace

Původ a standardizace

- Původně vyvinuto společností Ericsson v 90. letech.
- Specifikace spravuje Bluetooth SIG (Special Interest Group).
- Pracuje v **2,4GHz ISM pásmu**, stejně jako Wi-Fi 2,4 GHz, používá tzv. spread spectrum (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum).

Klasifikace zařízení

- Podle **výkonu** a **dosahu**: Class 1 (až 100 m), Class 2 (asi 10 m), Class 3 (1 m).
- Nejčastější v běžné elektronice je Class 2.

Verze a rychlosti Bluetooth

Bluetooth verze

1. **1.x** – základní rychlost (1 Mbps, reálně méně).
2. **2.x (EDR)** – Enhanced Data Rate (až 3 Mbps).
3. **3.0 HS** – teoreticky až 24 Mbps, využívalo doplnkově Wi-Fi.
4. **4.0 (Low Energy)** – Bluetooth Low Energy (BLE) vhodné pro IoT a senzory.
5. **5.x** – Vylepšený dosah, rychlost (BLE), podpora smíšených režimů.

Praktické využití

- Sluchátka, bezdrátové myši, klávesnice, chytré hodinky, IoT senzory atd.

Způsob komunikace a profilové služby

Piconet a Scatternet

- **Piconet:** síť, kde jedna jednotka funguje jako master, ostatní jako slaves.
- **Scatternet:** propojení více piconetů (zřídka v běžné praxi).

Profily Bluetooth

- Určují typ služby: HFP (Hands-Free Profile), A2DP (Advanced Audio Distribution), HID (Human Interface Device), BLE GATT atd.
- Kompatibilita mezi zařízeními je zajištěna právě podporou odpovídajícího profilu.

Výhody

- Nízká spotřeba, snadné párování zařízení.

Nevýhody

- Omezený dosah a rychlost, možnost rušení v 2,4GHz pásmu.

Základy zabezpečení Bluetooth

Párování

- Založeno na sdíleném párovacím klíči (PIN), u BLE varianty možnost i dalších metod (numeric comparison, passkey).

Šifrování

- Šifra E0 (starší verze) či AES (v BLE).

Zranitelnosti

- Starší verze mohou být napadnutelné (snadné odposlechnutí párovacího PINu).
- U novějších verzí BLE se zlepšila bezpečnost, ale je třeba aktualizací firmwaru a obezřetnosti.

WiMAX – Základní informace

Co je WiMAX

- **Worldwide Interoperability for Microwave Access.**
- Standardizováno jako IEEE 802.16, původně vyvíjeno pro bezdrátové MAN (Metropolitan Area Networks).

Klíčové parametry

- Využití licencovaných i nelicencovaných pásem (2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz a další dle regionu).
- Podporuje vyšší rychlosti na větší vzdálenosti (až desítky km).

Typické aplikace

- Bezdrátový přístup k internetu (Broadband Wireless Access).
- Konkurence xDSL nebo kabelové televizi, zejména v oblastech bez vhodné infrastruktury.

Architektura WiMAX

Point-to-Multipoint

- Centrální základnová stanice (BS), obsluhující uživatelské stanice (CPE – Customer Premises Equipment).

Topologie

- Většinou **hvězdicová** s jedním AP (Base Station).
- Možné i přepojování mezi stanicemi pro velké metropolitní sítě.

Fyzická vrstva

- Využívá OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), adaptivní modulaci (QPSK, 16QAM, 64QAM), dynamicky dle kvality signálu.

Výhody a nevýhody WiMAX

Výhody

- Větší dosah (kilometry) a vysoká kapacita (desítky Mbps).
- Možnost připojení většího počtu uživatelů / oblastí bez kabelových rozvodů.

Nevýhody

- Vyžaduje licencované frekvenční pásmo (pokud chceme stabilní a neregulované rušením).
- Konkurenční tlak mobilních 4G/5G sítí (LTE) a optických rozvodů.

Aktuální stav

- WiMAX do značné míry nahradily 4G a 5G mobilní sítě, případně lokální bezdrátová řešení v pásmu 5 GHz (Wi-Fi, WISP).

Porovnání Bluetooth a WiMAX

Technologie	Bluetooth	WiMAX
Typická oblast použití	Osobní síť (PAN), krátký dosah	Metropolitní síť (MAN), přístup k internetu
Frekvenční pásmo	2,4 GHz (ISM), BLE i v 2,4 GHz	2,3–3,5 GHz (lic.), 5,8 GHz (nelic.) aj.
Rychlost	Desítky kbps až jednotky Mbps (BLE), starší BT do 3 Mbps, BT 5.x ±50 Mbps teoreticky	Desítky až stovky Mbps, v praxi do ~70 Mbps v jedné BTS pro share
Dosah	1–100 m dle třídy a verze	Několik km (typicky 3–5 km, i více)
Výhody	Nízká spotřeba, snadné párování	Vysoký dosah, kapacita pro broadband
Nevýhody	Omezený dosah, rušení, nižší rychlost	Nutnost licencí (profesionální provoz), konkurence LTE/5G

Shrnutí

Bluetooth

- Určeno hlavně pro krátké vzdálenosti, nízkou spotřebu (BLE) a osobní sítě.
- Užitečné pro sluchátka, klávesnice, smart home, IoT zařízení.
- Vývoj směřuje k vyšší rychlosti, většímu dosahu (Bluetooth 5) a lepší bezpečnosti.

WiMAX

- Bezdrátový přístup ve velkých vzdálenostech, dříve nadějný konkurent pro DSL/kabel.
- V praxi do značné míry vytlačena mobilními sítěmi (4G/5G) a rozvojem optických linek.
- Stále se využívá v některých regionech pro lokální bezdrátový broadband.

Kontrolní otázky

1. V jakém frekvenčním pásmu obvykle pracuje Bluetooth a jaké metody šíření signálu využívá?
2. Co je to BLE (Bluetooth Low Energy) a jaké aplikace jsou pro něj typické?
3. Jaké jsou hlavní rozdíly mezi Bluetooth a Wi-Fi co do dosahu, rychlosti a využití?
4. Proč byl WiMAX považován za perspektivní řešení pro širokopásmový internet, a co přispělo k jeho menšímu rozšíření?
5. Jakým způsobem je typicky realizována architektura WiMAX (Point-to-Multipoint)?
6. V čem spatřujete hlavní výhody a nevýhody licencovaného frekvenčního pásma u WiMAX?

Doporučená literatura

1. **Tanenbaum, A. S., Wetherall, D.:** *Počítačové sítě*, 5. vydání (v češtině) – Kapitoly o bezdrátových sítích.
2. **Kurose, J. F., Ross, K. W.:** *Computer Networking: A Top-Down Approach* – Obecný přehled bezdrátových sítí.
3. **Bluetooth SIG:** [Oficiální stránky](#) – Specifikace, novinky.
4. **WiMAX Forum:** [Oficiální stránky](#) – Informace o standardech IEEE 802.16, aplikacích.
5. **Cisco Networking Academy:** *Materiály k bezdrátovým technologiím* – Přehled architektury, standardů, praktické příklady.