**18. Bezdrátové sítě, standardy bezdrátových sítí**

rozdělení podle pokrytí

pan - bluetooth, zigbee - rozdělění energetická náročnost, rychlost, dosah

wlan - wifi - ad-hoc, režim infrastruktury

wan - cellular

bluetooth - frequence hopping

identifikátory bezdrátových sítí

**1. Rozdělení bezdrátových sítí podle pokrytí**

Bezdrátové sítě lze dělit podle geografického pokrytí (dosahu) na:

* **WPAN (Wireless Personal Area Network)** – osobní bezdrátové sítě s malým dosahem (do desítek metrů).
* **WLAN (Wireless Local Area Network)** – bezdrátové lokální sítě s dosahem jednotek až desítek (až stovek) metrů.
* **WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)** – metropolitní bezdrátové sítě (rozsah typicky několik km).
* **WWAN (Wireless Wide Area Network)** – širokoplošné (celonárodní, mezinárodní) sítě, např. mobilní sítě operátorů.

**1.1 WPAN – Bluetooth a ZigBee**

* **Bluetooth** (např. Bluetooth Classic, Bluetooth LE)
  + Typické využití: připojení periférií (klávesnice, myš, sluchátka), přenos dat mezi mobily, IoT zařízení.
  + **Frekvenční pásmo**: 2,4 GHz (ISM).
  + **Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**: Bluetooth pravidelně „přeskakuje“ mezi různými frekvenčními kanály, aby se snížilo riziko rušení a zvýšila robustnost.
  + **Dosah**: běžně 10–100 m (závisí na třídě zařízení), u BLE (Bluetooth Low Energy) mohou být i nižší rychlosti a nižší spotřeba, dosah může být vyšší.
  + **Rychlost**: Bluetooth Classic až 3 Mb/s (teoreticky), BLE je pomalejší (typicky do 1–2 Mb/s) avšak úspornější.
  + Existují dvě varianty:
    - Bluetooth Low Energy — Nízká spotřeba energie, např. využitá v IoT
    - Bluetooth Basic Rate/Enhanced Rate (BR/EDR) — Optimalizováno pro rychlejší přenos dat
* **ZigBee**
  + Určeno pro sítě s velmi nízkou spotřebou a nízkou přenosovou rychlostí (typicky 250 kb/s).
  + **Frekvenční pásmo**: nejčastěji 2,4 GHz, možné i 868/915 MHz v závislosti na regionu.
  + **Dosah**: desítky, někdy až stovky metrů (v závislosti na prostředí, vysílacím výkonu a počtu mezilehlých uzlů/mesh).
  + Vysoce úsporné řešení vhodné pro senzory, chytré domácnosti (Smart Home), průmyslovou automatizaci.

**1.2 WLAN – Wi-Fi**

* Lokální bezdrátová síť využívající standardy IEEE 802.11.
* Typický **dosah**: 20–50 m v interiéru, více na volném prostranství.
* **Rychlost**: od 11 Mb/s (802.11b) až po několik Gb/s (802.11ac/ax).
* **Frekvenční pásma**: nejčastěji 2,4 GHz a 5 GHz, nově také 6 GHz (Wi-Fi 6E).

**Režimy Wi-Fi**

1. **Infrastrukturní režim** (Infrastructure mode)
   * Všechny stanice komunikují přes **přístupový bod (AP)**.
   * AP se stará o řízení komunikace, přiřazování adres, bezpečnost, atd.
2. **Ad-hoc režim** (IBSS – Independent Basic Service Set)
   * Stanice komunikují **přímo mezi sebou**, bez centrálního přístupového bodu.
   * V praxi méně využívaný, hodí se pro rychlé propojení dvou zařízení, kde není k dispozici AP.

**1.3 WWAN – mobilní (cellular) sítě**

* Určeny pro pokrytí velkých oblastí, od měst až po celé státy.
* **Technologie**: 2G (GSM), 3G (UMTS), 4G (LTE), 5G a další.
* **Frekvenční pásma**: licencovaná, přidělují se jednotlivým operátorům.
* **Dosah**: závisí na hustotě vysílačů (BTS), může být několik km na jednu buňku.
* **Rychlost**: od desítek kb/s u 2G až po stovky Mb/s či Gb/s u 5G.
* **Často využívaná technologie WiMAX** → **IEEE 802.16** — Worldwide Interoperability for Microwave Access
  + Poskytuje širokopásmé připojení
  + Využíván providery jako přistupová sí´t s dosahem až 50 km
  + Využíván i mobilními operátory na realizaci datových sítí v oblastech, kde není dostupný signál z antén
* **Mobilní širokopásmé připojení** → **Cellular Broadband** — Datové sítě mobilních operátorů
  + **4G/5G sítě** 
    - 4G — Max 100 Mbps
    - 5G — Klidně 1 Gbps
  + Používané mobilními zařízeními
  + Přenášejí data ale i hlas
  + Na nšem území používáme sítě GSM — Global System for Mobile
* **Širokopásmé satelitní připojení** 
  + Poskytuje přístup k Internetu na místech, kde nejsou jiné možnosti připojení
  + Používá směrované satelitní anténdy nařízené na geostacionární komunikační satelit ve vesmíru
  + Drahé a veliká latence

**2. Současné technologie bezdrátových sítí**

Rozšířené technologie zahrnují:

* **Wi-Fi** (nejčastěji 802.11n/ac/ax),
* **Mobilní sítě** (4G/5G),
* **Bluetooth** (WPAN pro krátké vzdálenosti),
* **ZigBee** (velmi nízká rychlost, nízká spotřeba, mesh),
* **LoRaWAN, Sigfox** (velký dosah, minimální rychlost, IoT),
* **NFC** (Near Field Communication, platby na velmi krátkou vzdálenost).

Každá technologie optimalizuje jiný faktor (rychlost, dosah, spotřebu, latenci, počet zařízení).

**3. Přístupová metoda CSMA/CA v bezdrátových sítích (zejména 802.11)**

V bezdrátových sítích IEEE 802.11 (Wi-Fi) se používá **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)**.

* **Základní princip**: Stanice před vysíláním „naslouchá“, zda je kanál volný. Pokud je obsazeno, počká náhodnou dobu (backoff).
* **ACK**: Pro každý datový rámec odesílatel vyžaduje potvrzení (ACK). Pokud ACK nepřijde, rámec se po uplynutí backoff intervalu posílá znovu.
* **RTS/CTS**: Mechanismus pro omezení kolizí ve velkém provozu nebo u tzv. skrytých uzlů (hidden nodes).

Bezdrátové prostředí je náchylnější na rušení, proto je metoda CSMA/CA doplněna potvrzovacími mechanismy, aby bylo zajištěno spolehlivé doručení.

**Jak funguje CSMA/CA**

1. Uzel, který chce vysílat počká, až na přenosovém médiu bude ticho (nebude detekovat žádný signál)
2. Tento uzel vyšle rámec RTS, určený pro AP
   * RTS = Request To Send
   * Žádá o právo vysílat
   * Informuje také o délce vysílání
3. Tento rámec zachytí AP tak i ostatní uzly
4. V režimu infrasktruktury, AP odpoví krátkým rámcem CTS
   * CTS = Clear To Send
   * Povoluje uzlu vysílat
   * Informuje o délce možného vysílání

<aside> 💡 Pokud nedostane odpověď, čeká náhodnou dobu a opakuje od 1. kroku

1. Tento rámec zachytí náš uzel, ale i ostatní uzly
2. Probíhá samotný datový přenos, příjem každého rámce musí být potvrzený
3. Ostatní uzly čekají na konec vysílání
4. Až skončí → 1. krok

**4. Standardy bezdrátových sítí (IEEE 802.11)**

Rodina **IEEE 802.11** definuje Wi-Fi sítě na fyzické a linkové vrstvě:

1. **IEEE 802.11 (originál, 1997)**
   * První verze, rychlosti 1 a 2 Mb/s. Dnes v praxi zastaralá.
2. **IEEE 802.11b (1999)**
   * Pásmo 2,4 GHz.
   * Rychlosti až 11 Mb/s.
   * Široce rozšířený na začátku 21. století (Wi-Fi 2,4 GHz).
3. **IEEE 802.11a (1999)**
   * Pásmo 5 GHz.
   * Rychlosti až 54 Mb/s (OFDM modulace).
   * Kvůli menší kompatibilitě a vyššímu kmitočtu nebyl zpočátku tolik rozšířen jako 802.11b.
4. **IEEE 802.11g (2003)**
   * Spojuje výhody 802.11b (2,4 GHz) a 802.11a (OFDM modulace)
   * Rychlosti až 54 Mb/s (kompatibilní s 802.11b za cenu zpomalení sítě).
5. **IEEE 802.11n (2009)**
   * MIMO (Multiple Input Multiple Output) – využití více antén.
   * Pásma 2,4 GHz i 5 GHz.
   * Maximální teoretické rychlosti až 600 Mb/s.
6. **IEEE 802.11ac (2013/2015)**
   * Primárně pásmo 5 GHz (šířka kanálu až 160 MHz).
   * Používá MU-MIMO (Multi-User MIMO), vysoké modulace (256-QAM).
   * Teoretické rychlosti přes 1 Gb/s (typicky až 3,46 Gb/s v závislosti na počtu streamů).
7. **IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6, 2019)**
   * Funguje v pásmech 2,4 GHz, 5 GHz a nově i **6 GHz** (jako Wi-Fi 6E).
   * Používá OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), ještě vyšší modulace 1024-QAM, inteligentní řízení energie a plánování.
   * Výrazné zlepšení efektivity při větším počtu klientů.
   * Teoretické rychlosti až 10 Gb/s (v ideálních podmínkách).
8. **IEEE 802.11be (Wi-Fi 7, ve vývoji)**
   * Nástupce 802.11ax.
   * Ještě širší kanály (320 MHz), vylepšené MU-MIMO, vyšší modulace (4096-QAM).
   * Očekávají se rychlosti přes 30 Gb/s ve špičce.

Dále existují doplňkové standardy:

* **802.11i** (bezpečnost – WPA2, WPA3),
* **802.11e** (QoS),
* **802.11r** (rychlý roaming),
* **802.11s** (mesh networking),
* atd.

**5. Identifikátory bezdrátových sítí**

**5.1 Wi-Fi sítě**

* **SSID (Service Set Identifier)**: název sítě (řetězec znaků), který se vysílá v beacon rámcích a slouží k identifikaci WLAN.
* **BSSID (Basic Service Set Identifier)**: unikátní MAC adresa přístupového bodu (v režimu infrastructure) nebo stanice v ad-hoc síti.

**5.2 Bluetooth**

* **Název zařízení (Device name)**: uživatelsky nastavitelný.
* **MAC adresa**: každé BT zařízení má unikátní 48bitovou adresu.
* Při párování se využívá identifikace podle názvu a/nebo MAC.

**5.3 Mobilní sítě**

* **Cell ID**: identifikace buňky (BTS).
* **PLMN (Public Land Mobile Network) ID**: identifikace sítě operátora.

**VSUKA:**

**Připojení k bezdrátové síti**

1. Klient objeví AP
2. Autenticuje se, pokud je zde nastavené nějaké zabezpečení jako WEP, WPA, WPA2, WPA3, atd.
3. Proběhne asociace s AP a klient může bezdrátovou síť aktivně používat

**Věci potřebné k úspěšné komunikaci**

* SSID → Jméno bezdrátové sítě
* Password → Pokud využíváme nějaké zabezpečení
* Network mode → Jaký standard 802.11, např. 802.11g
* Security mode → Zvolené zabezpečení (WEP, WPA, WPA2, WPA3, …)
* Channel settings → Kanály, které budou využité k v komunikaci

**Režimi AP**

* Passive mode
  + AP vysílá beacon frames, které klienti obdrží → Obsahují SSID, standardy, atd.
* Active mode
  + Klient musí znát SSID AP, jinak se nemůže připojit
  + Klient pošle probe request frames broadcastem na více kanály

**Správa AP**

* Autonomní AP — Každé AP je nakonfigurováno jednotlivě, nezávisle na ostatních
* Controller-based AP — Konfigurace a správa jednotlivých AP se řeší pomocí řídícího prvku
  + AP se zde označuje jako LAP — Lightweight AP
  + Řídící prvek se označuje WLC — Wireless Lightweight Controller
  + Komunikují pomocí LWAPP — Lightweight Access Point Protocol

**6. Bezpečnost ve standardech 802.11**

Pro zabezpečení Wi-Fi sítě se používají protokoly:

* **WEP** (Wired Equivalent Privacy) – zastaralý a nepovažuje se za bezpečný.
* **WPA / WPA2** – založeno na 802.11i, využívá TKIP (WPA) nebo AES (WPA2).
* **WPA3** – novější standard se silnějším šifrováním (192bitová šifra, SAE – Simultaneous Authentication of Equals).

**Shrnutí**

1. **Rozdělení podle pokrytí**
   * **PAN** (Bluetooth, ZigBee): velmi krátká vzdálenost, nízká spotřeba (zejména ZigBee), střední až nízké rychlosti.
   * **WLAN** (Wi-Fi): lokální sítě s dosahem desítek metrů, vyšší rychlost, režimy ad-hoc i infrastruktury.
   * **WAN** (mobilní sítě): velké pokrytí, licencované frekvence, rychlost od 2G (kb/s) po 5G (Gb/s).
2. **Současné technologie bezdrátových sítí**
   * Wi-Fi pro lokální data, mobilní sítě pro celoplošné pokrytí, Bluetooth a ZigBee pro osobní oblast a IoT.
3. **CSMA/CA**
   * Klíčový mechanismus pro sdílení bezdrátového média v 802.11, zabraňuje kolizím díky poslechu kanálu a potvrzování rámců.
4. **Standardy 802.11**
   * Neustálý vývoj od 802.11b/g až po 802.11ax/802.11be (Wi-Fi 6/7), rostoucí rychlosti, kapacita, efektivita i bezpečnost.
5. **Identifikátory bezdrátových sítí**
   * Pro Wi-Fi je klíčový **SSID** a **BSSID**, u Bluetooth **Device name** a **MAC** adresa, v mobilních sítích např. **Cell ID** a **operátor**.