

Počítačové sítě, v. 3.0



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



Lekce 6: Bezdrátový Ethernet (IEEE 802.11)

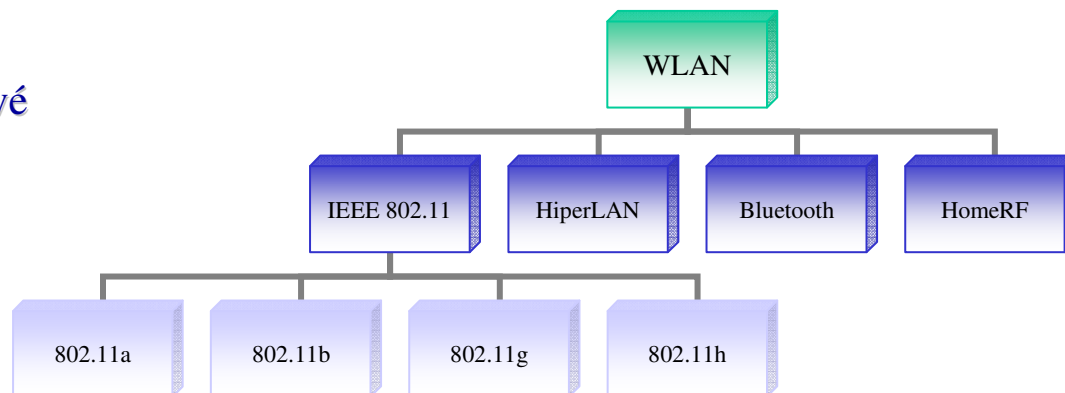
J. Peterka, 2005

od bezdrátovému Ethernetu k Wi-Fi

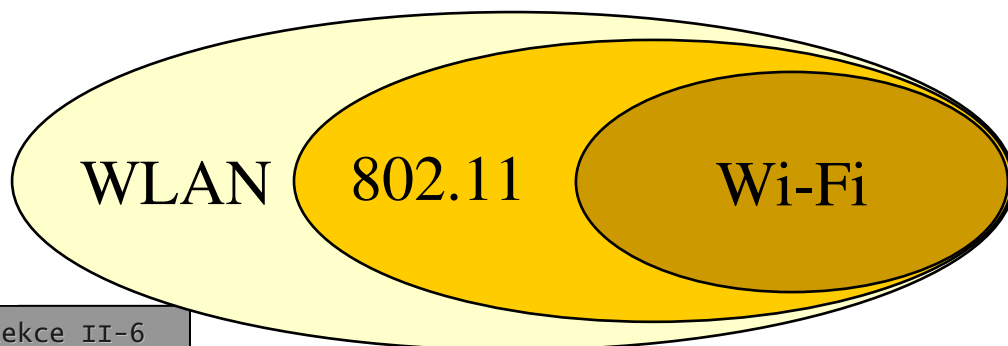
- snahy o další rozvoj Ethernetu se ubíraly různými cestami
 - jiná (drátová) přenosová média
 - kroucená dvoulinka, optická vlákna
 - vyšší rychlosti
 - 100Mbit/s, 1Gbit/s, 10Gbit/s,
 - "jiné využití"
 - metropolitní Ethernet, "carrier-grade" Ethernet, Ethernet v první míli (EFM)
 - bezdrátový Ethernet
 - snaha zbavit se závislosti na drátech
 - aby nebylo nutné instalovat kabeláž
 - původně zamýšleno spíše pro "průmyslové využití"
 - pro propojování různých zařízení (spíše než počítačů)
- další vývoj "bezdrátového Ethernetu":
 - využití pro propojení počítačů na krátkou vzdálenost
 - hlavně "indoor", jen málo "outdoor"
 - v rámci sítí LAN
 - přestala se akcentovat vazba na Ethernet
 - začíná se obecně hovořit jako o jedné variantě sítí WLAN
- předpoklady úspěchu:
 - dostupné frekvence
 - pro bezlicenční použití
 - pásma 2,4 GHz a 5 GHz
 - standardizace
 - ujala se IEEE, pracovní skupina 802.11
 - standard **IEEE 802.11** a další
 - 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11h
 - praktické dodržování standardů, kompatibilita
 - ujala se asociace WECA
 - Wireless Ethernet Compatibility Alliance
 - "marketing"
 - brand **Wi-Fi**

WLAN vs. Wi-Fi

- **WLAN** (Wireless LAN)
 - je obecné označení pro bezdrátové sítě LAN
- "bezdrátový Ethernet" (IEEE 802.11) je pouze jednou z technologií, které mohou být použity v rámci WLAN
 - dalšími technologie jsou např. Bluetooth, HiperLAN, HomeRF,
- technologie IEEE 802.11 jsou dnes používány i mimo WLAN
 - např. v prostředí WirelessMAN, Wireless WAN
 - pro to nebyly původně určeny



- **Wi-Fi** není to samé jako WLAN či IEEE 802.11...
 - Wi-fi je "nálepka" (známka)
 - uděluje se těm produktům, které vyhovují standardům (802.11...) a splňují požadavky na vzájemnou kompatibilitu
 - uděluje je organizace Wi-Fi Alliance
 - dříve WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance

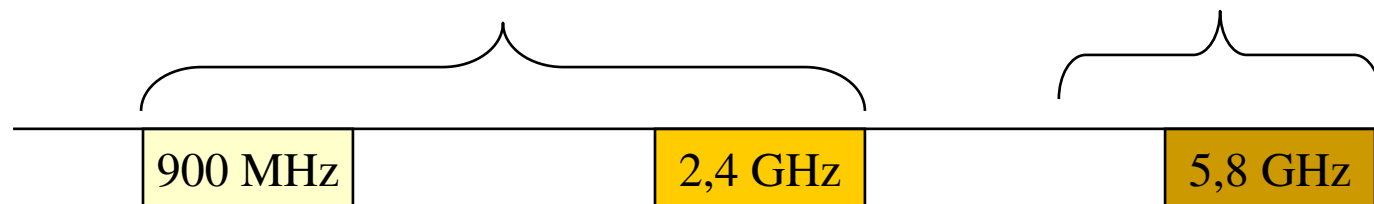


Historie "bezdrátového Ethernetu"



mezinárodní **ISM pásmo**
(Industry, Science, Medical)

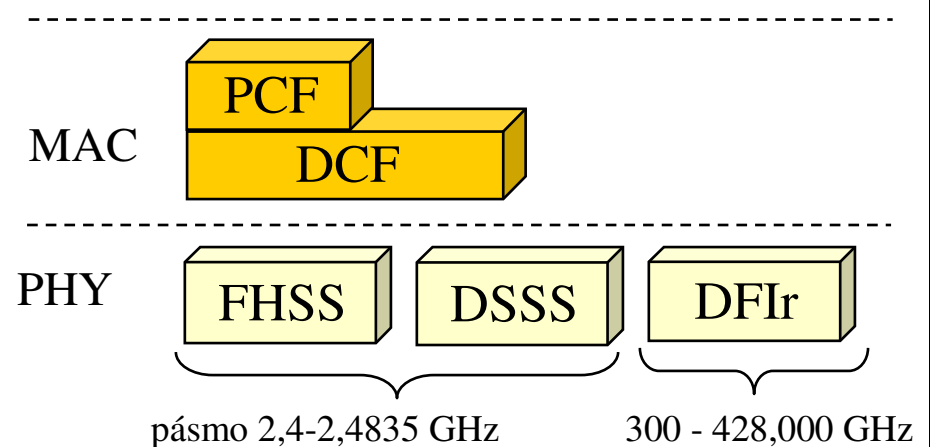
národní (USA) **UNII pásmo**
(Unlicensed National Information Infrastructure)



- 1985: americký regulátor (FCC, Federal Communications Commission) uvolňuje tři "odpadková" frekvenční pásma
 - v pásmu 900 MHz, 2,4 GHz
 - později též v pásmu 5,8 GHz (UNII)
 - umožňuje jejich využití bez licence (uvolňuje je jako "bezlicenční")
 - do té doby nebyla žádná bezlicenční pásma (jen radioamatérská)
 - tato pásma ale již byla dříve alokována pro jiné účely než pro komunikace
 - např. pro mikrovlnné trouby
- byl to obrovský impuls pro rozvoj bezdrátových řešení
- (technické) důsledky:
 - podmínkou pro využití těchto pásem pro komunikace bylo využití takových technik, které se dokáží vyhnout rušení
 - od mikrovlnných trub apod.
 - řešením je rozprostření do širšího spektra
 - použití technik jako je Frequency Hopping či Spread Spectrum
- (další) důsledky
 - řešení v pásmu 2,4 GHz se snáze šíří po celém světě
 - někde jsou "drobné" problémy s vyhrazením pásma pro jiné účely
 - řešení v pásmu 5 GHz je "hodně americké",
 - jinde ve světě se prosazuje obtížněji

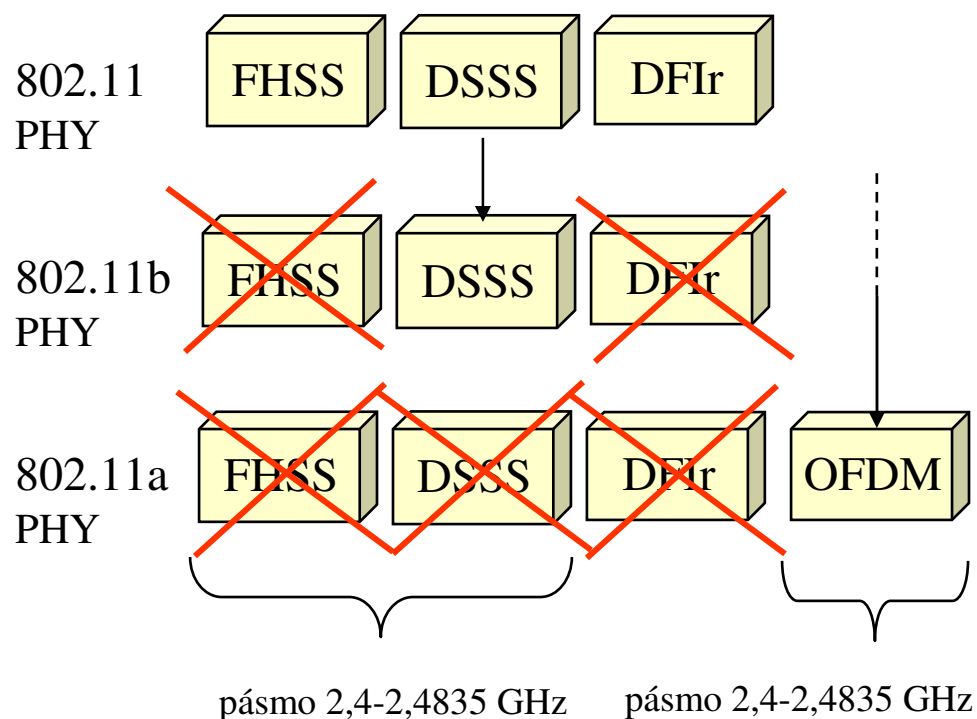
Historie "bezdrátového Ethernetu"

- 1986-7: objevují se první proprietární řešení
 - např. Proxim, Symbol
 - využívající pásma ISM a UNII
 - jsou navzájem nekompatibilní
 - objevuje se potřeba společného standardu
 - aby si proprietární řešení rozuměla navzájem
- 1988: vzniká pracovní skupina **IEEE 802.11**
 - z iniciativy společnosti NCR
 - chtěla bezdrátově propojit své pokladny
- 1989-97: hledání technického řešení
 - 1990: vzniká AT&T WaveLAN
 - používá techniku DSSS
 - 1996: první čipset pro bezdrátový Ethernet
 - Harris (Intersil): PRISM WLAN chipset
- 1997: dosažena dohoda na společném standardu
 - **IEEE 802.11**
 - "bezdrátový Ethernet"
- co standard pokrývá:
 - podvrstvu MAC (řízení přístupu):
 - varianta PCF
 - Point Coordination Function
 - varianta DCF
 - Distributed Coordination Function
 - fyzickou vrstvu (PHY)
 - FHSS
 - Frequency Hopping Spread Spectrum
 - DSSS
 - Direct Sequence Spread Spectrum
 - DFIr
 - Diffused Infrared (v praxi se neprosadilo)
- maximální přenosová rychlost:
 - 2 Mbit/s
 - resp. 1 Mbit/s, podle použitého řešení PHY



další vývoj IEEE 802.11

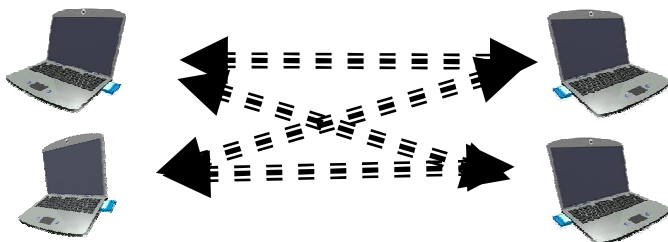
- 1997: standard 802.11 byl již při svém schválení zastaralý
 - ihned začaly práce na jeho vylepšení
 - hlavně: zvýšení rychlosti
- vznikají nové pracovní skupiny
 - Task Group "A"
 - snaží se využít nově přidělené pásmo UNII (5,8 GHz)
 - vyvíjí úplně novou techniku modulace (řešení PHY)
 - OFDM, Ortogonal Frequency Division Multiplexing
 - dosahuje rychlosti 54 Mbit/s
 - Task Group "B"
 - snaží se zrychlit dosavadní řešení v pásmu 2,4 GHz
 - opouští techniku DFIR
 - nikdy s nenejžala
 - opouští techniku FHSS
 - kvůli předpisům FCC by nešlo zrychlit přenosy
 - dosahuje rychlosti 11 Mbit/s
- 1999: jsou schváleny nové standardy
 - 802.11a
 - 54 Mbit/s v pásmu 5 GHz
 - použitelné v USA
 - 802.11b
 - 11 Mbit/s, v pásmu 2,4 GHz



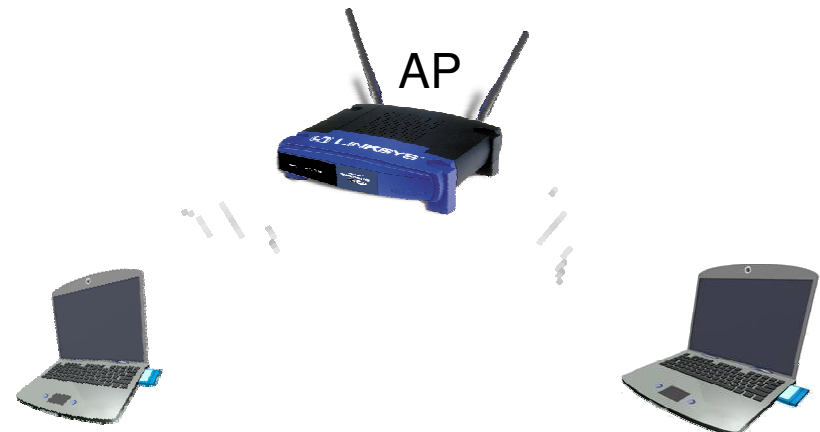
Architektura IEEE 802.11: dva základní režimy fungování



- pro dvoubodový spoj
- pro vícebodové propojení
 - kdy dva terminály komunikují přímo mezi sebou
 - označováno jako:
 - obecně: peer-to-peer mode
 - IEEE 802.11: "**ad-hoc mode**"

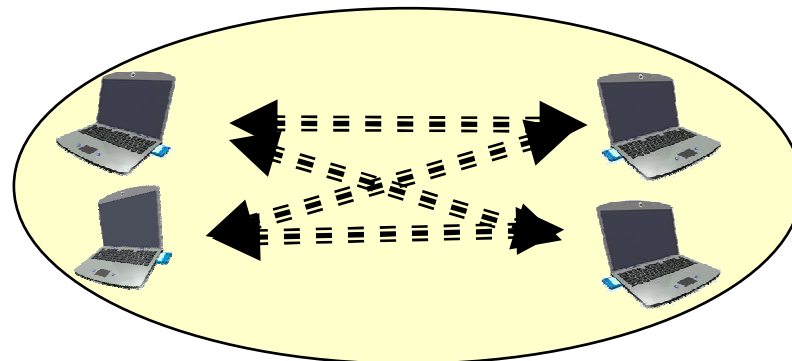


- "do hvězdy"
 - 1 přístupový bod (**AP**, Access Point)
 - dále n terminálů (**STA**, Station)
 - terminály nekomunikují přímo mezi sebou
 - ale jen s AP, resp. přes AP
 - AP je analogií základnové stanice v mobilních sítích
 - přenosová kapacita je sdílena všemi právě aktivními terminály
 - v IEEE 802.11 označováno jako:
 - "**infrastructure mode**"

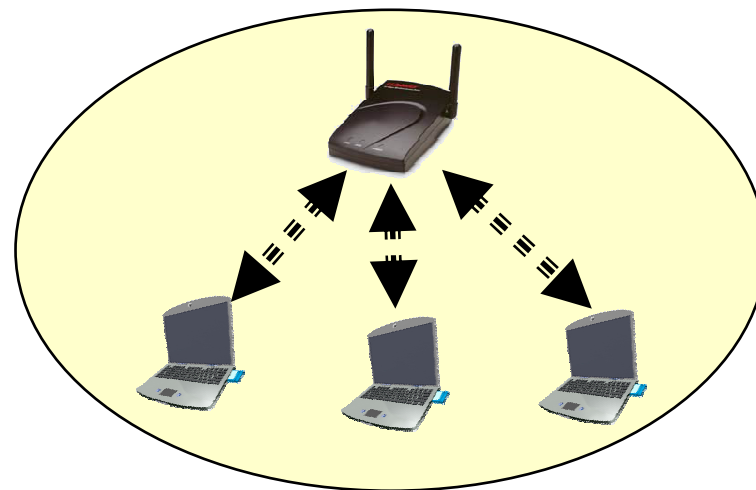


Architektura IEEE 802.11

- **BSS** (Basic Services Set)
 - nejmenší prvek architektury bezdrátových sítí IEEE 802.11
 - analogie buňky v mobilních sítích
 - dva či více počítačů, které se navzájem rozpoznaly a komunikují spolu
- BSS nemusí obsahovat přístupový bod (AP)
 - pak jde o tzv. **IBSS**
 - Independent BSS
 - není provázán s okolím
 - uzly komunikují **v režimu ad-hoc**
- častěji BSS obsahuje přístupový bod
 - přístupový bod (AP, Access Point) je zamýšlen jako rozhraní mezi bezdrátovou sítí a sítí "drátovou" (okolím)
 - jakmile je AP přítomen v BSS, veškerá komunikace prochází přes AP
 - uzly by spolu neměly komunikovat přímo
 - uzly v rámci BSS komunikují **v režimu infrastruktury**



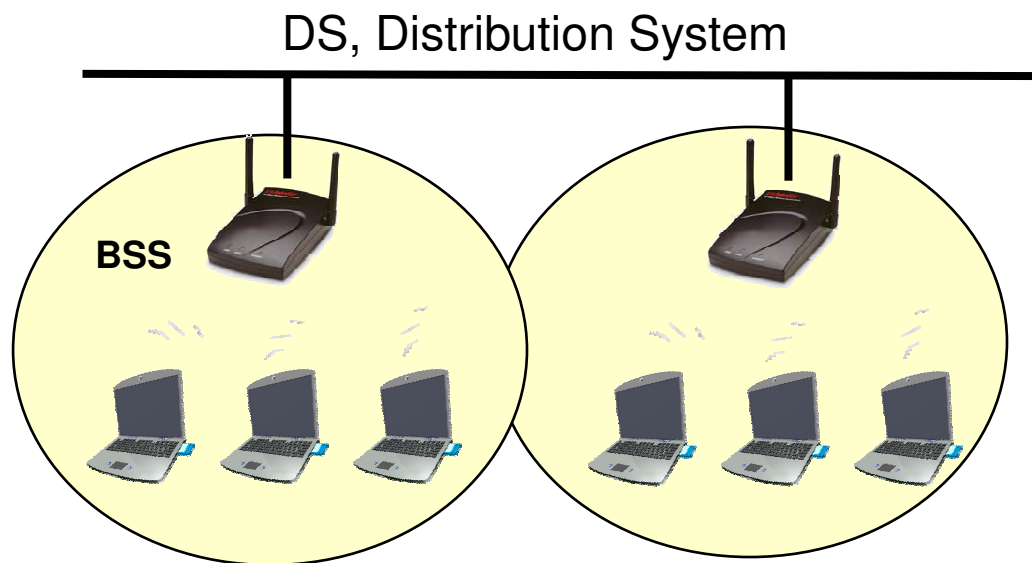
IBSS (Independent BSS)
žádný AP, uzly komunikují
přímo mezi sebou



BSS (Basic Service Set)
1 AP připojený ke drátové síti,
více terminálů "do hvězdy"
režim "infrastructure"

DS, Distribution System

- BSS je analogií buňky
 - v mobilní síti
- BSS (nikoli IBSS) je obvykle napojen na další síť
 - drátové i bezdrátové
- ke vzájemnému propojení BSS slouží tzv. Distribution System (DS)
 - předpokládá se, že DS je "drátová" síť
- DS propojuje na úrovni linkové vrstvy
 - propojení je "neviditelné" pro podvrstvu LLC
 - DS propouští broadcast
- DS (Distribution System) může být:
 - drátový (Wired Distribution System)
 - častější, nejvíce se používá "drátový" Ethernet (opakovače, přepínače, mosty)
 - bezdrátový (Wireless Distribution System)
 - může propojovat dvě drátové sítě
 - Wireless Bridge
 - nebo i dvě bezdrátové sítě

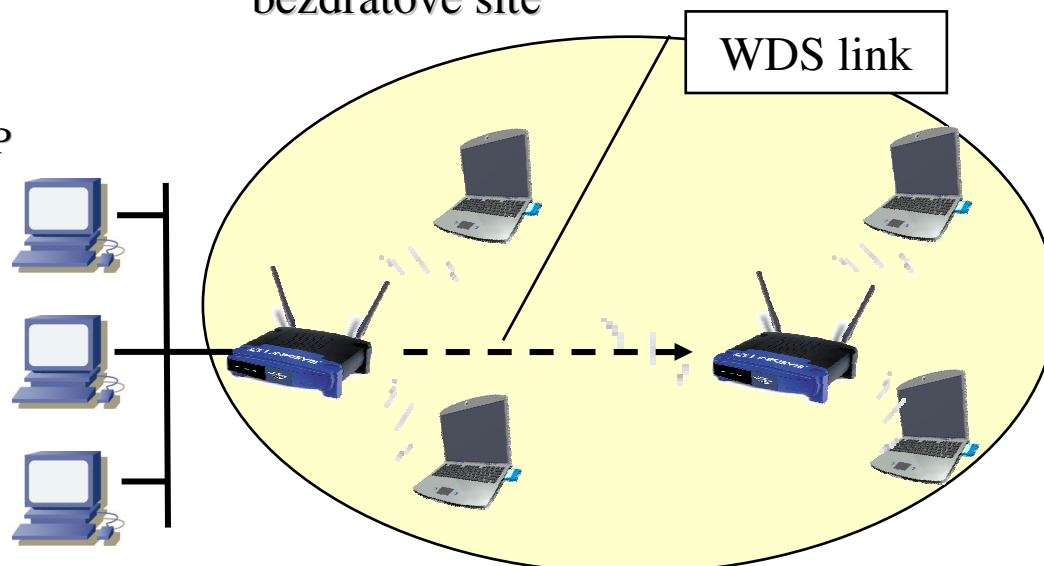


Varianty DS: WDS a Repeating WDS



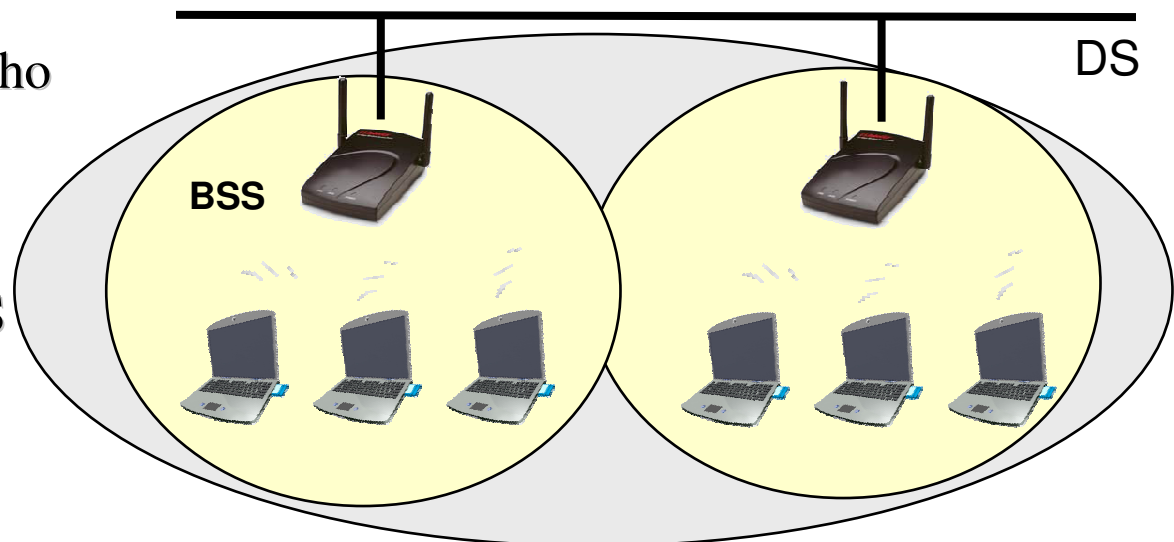
- WDS, Wireless Distribution System
 - propojuje dvě "drátové" sítě, bezdrátovým způsobem
 - provoz mezi oběma AP nepřijímá žádný jiný uzel
 - "WDS link" je spojení mezi dvěma AP
- toto řešení bývá v praxi označováno také jako "wireless bridging"
 - propojení dvou zařízení v režimu "wireless bridge"
 - bezdrátová obdoba klasického mostu

- Repeating WDS, aka Wireless Repeater
 - jeden uzel funguje jako běžný přístupový bod (AP)
 - druhý uzel má 2 RF rozhraní
 - jedno se chová jako klient (stanice) vůči prvnímu AP
 - druhé se chová jako AP, snaží se emulovat první AP (stejná MAC adresa, SSID, šifrování atd.)
- slouží ke zvětšení dosahu bezdrátové sítě



ESS, Extended Service Set

- propojením několika BSS vzniká ESS
 - Extended Service Set
- odpovídá "bezdrátové síti"
 - síti WLAN
 - je to jedna broadcast doména
- umožňuje "mobilitu"
 - přechod z jedné buňky (BSS) do druhé (i do jiné ESS)
- AP jsou součástí distribučního systému (DS)
 - předpokládá se, že nejsou mobilní (pohyblivé)
- všechny AP ve stejném ESS mají stejný identifikátor
 - **SSID** ($\cong$ jméno sítě)
 - ale mají odlišné **BSSID** ($\cong$ jméno buňky)
- každá stanice vždy "patří" jen do jedné BSS
- možnosti "mobility":
 - "no transition"
 - stanice zůstává ve stejné BSS
 - "BSS-transition"
 - stanice přechází mezi různými BSS, ale zůstává v rámci stejné ESS
 - "ESS transition"
 - stanice přechází do jiné ESS

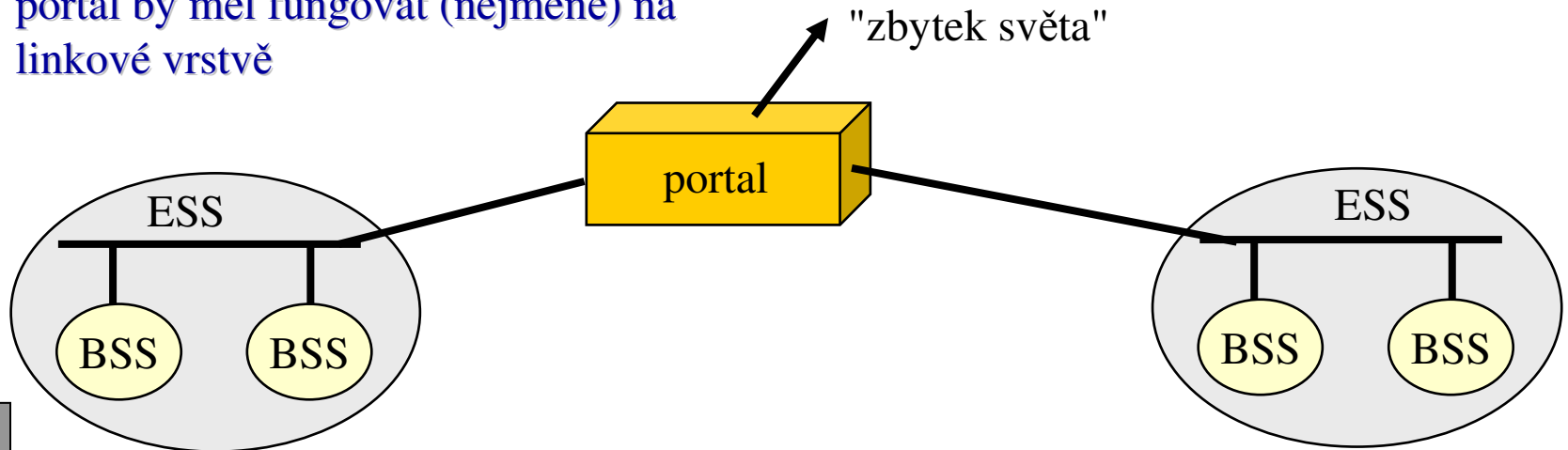


ESS (Extended Service Set)

více BSS propojených skrze Distribution System (DS)

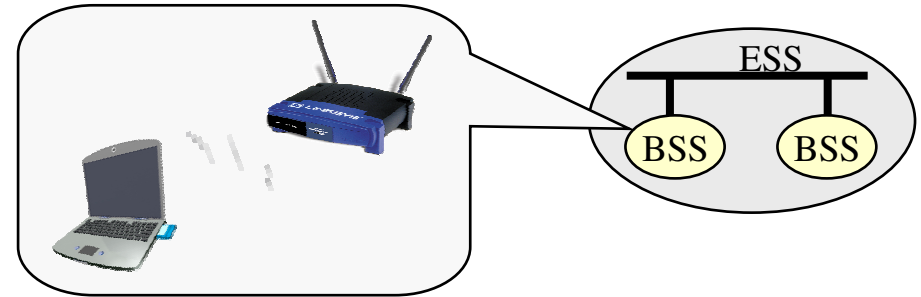
Hierarchie a mobilita

- standard IEEE 802.11 požaduje možnost provázání bezdrátových sítí s "drátovými"
 - 802.11 vs. 802.X
- přechod realizuje zařízení označované jako portál
 - je bodem přístupu k DS
 - veškerá data mezi drátovou a bezdrátovou sítí musí procházet přes portál
 - portál by měl fungovat (nejméně) na linkové vrstvě
- "mobilita"
 - v rámci BSS (no-transition)
 - nevyžaduje žádnou akci
 - mezi BSS
 - postačuje Reassociation
 - mezi ESS
 - analogie roamingu
 - není podporováno
 - stanice si může zajistit sama!!
 - lze řešit v SW stanice



Funkce DS

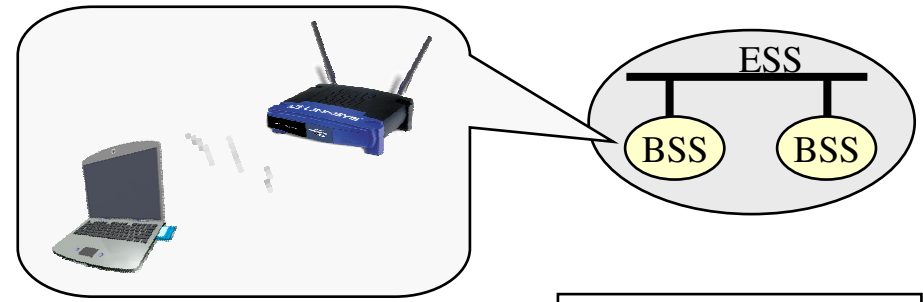
- standard IEEE 802.11 definuje služby, které DS poskytuje:
 - skrze AP, které jsou součástí DS
- rozdělení služeb:
 - Station Services (SS)
 - týkají se vztahu/komunikace mezi AP a stanicí
 - Distribution System Services (DSS)
 - týkají se "příslušnosti" stanic do buněk a k distribučním systémům (DS)
- Station Services:
 - Authentication
 - autentizace
 - stanice se ověřuje vůči AP:
 - Open System Authentication: žádné ověření, vyhoví každá stanice
 - pomocí WEP (Wireless Equivalent Privacy)
 - » stanice musí vlastnit sdílený klíč
 - » klíč je stejný pro všechny stanice



- Deauthentication
 - ukončení vzájemné vazby mezi AP a stanicí
 - například když stanice přechází z jedné buňky (DSS) do jiné
- Privacy
 - zajištění důvěrnosti
 - řeší se šifrováním
 - možnosti:
 - žádné šifrování (data se přenáší v plaintextu)
 - WEP (Wireless Equivalent Privacy)
 - » symetrické šifrování
- MAC Service Data Unit (MSDU) Delivery
 - vlastní přenos linkových rámců
 - na úrovni MAC podvrstvy

Funkce DS

- pozorování:
 - u "drátových sítí" je skrze zapojení jasné, "kdo kam patří"
 - do jaké sítě/segmentu
 - u bezdrátových sítí to tak jasné být nemusí
 - proto se stanice explicitně přihlašují (asociují) k buňkám sítě, resp. k jejich přístupovým bodům (AP)
- Distribution System Services
 - Association
 - stanice se "asociuje" s konkrétním AP v jedné BSS
 - v rámci toho musí proběhnout autentizace stanice vůči tomuto AP
 - teprve pak může stanice přenášet nějaká data z/do AP
 - Reassociation
 - opakovaná asociace, při přechodu mezi AP v rámci různých BSS (stejně ESS)
 - postačuje pro zajištění "BSS-transition"



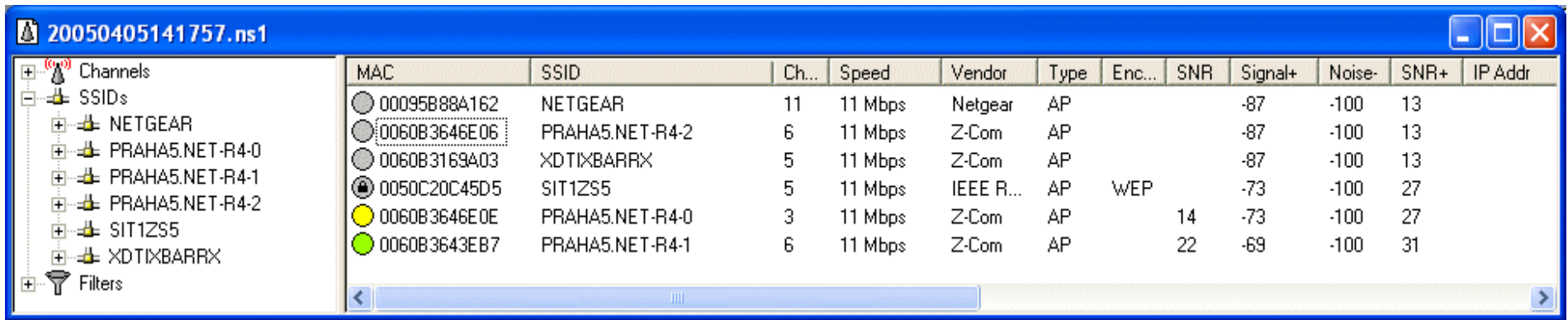
- Disassociation
 - zrušení asociace
 - stanice poté již nemůže přijímat/odesílat data skrze AP
- Distribution
 - přenos dat v rámci ESS po DS
 - odesílatel předá "svému" AP, ten využije DS k distribuci (přenosu) dat k příslušnému AP, které předá koncovému příjemci
- Integration
 - přenos dat mimo danou ESS
 - skrze tzv. portál

iniciuje stanice
nebo AP

iniciuje stanice

Identifikátory

- **SSID**
 - Service Set Identifier
 - 32-znakové jméno sítě
 - v rámci ESS musí být všude stejné
 - přenáší se v rámcích nezašifrovaně
 - lze snadno odposlechnout
 - v rámci ESS (IBSSS) musí být všude stejné
- **ESSID**
 - Extended SSID (pouze rozšíření SSID)
- **BSSID**
 - Basic Service Set Identifier
 - má 6 bytů
 - je jiné v každé BSS
 - BSS v režimu infrastruktury:
 - BSSID je MAC adresou AP
 - BSS v režimu ad-hoc:
 - BSSID je generováno náhodně



The screenshot shows a network scanner window titled "20050405141757.ns1". On the left, a tree view shows "Channels" expanded, with "SSIDs" listed: NETGEAR, PRAHA5.NET-R4-0, PRAHA5.NET-R4-1, PRAHA5.NET-R4-2, SIT1ZS5, and XDTIXBARRX. The main table displays details for these networks.

MAC	SSID	Ch...	Speed	Vendor	Type	Enc...	SNR	Signal+	Noise-	SNR+	IP Addr
00095B88A162	NETGEAR	11	11 Mbps	Netgear	AP			-87	-100	13	
0060B3646E06	PRAHA5.NET-R4-2	6	11 Mbps	Z-Com	AP			-87	-100	13	
0060B3169A03	XDTIXBARRX	5	11 Mbps	Z-Com	AP			-87	-100	13	
0050C20C45D5	SIT1ZS5	5	11 Mbps	IEEE R...	AP	WEP		-73	-100	27	
0060B3646E0E	PRAHA5.NET-R4-0	3	11 Mbps	Z-Com	AP		14	-73	-100	27	
0060B3643EB7	PRAHA5.NET-R4-1	6	11 Mbps	Z-Com	AP		22	-69	-100	31	

Protokolová architektura 802.11

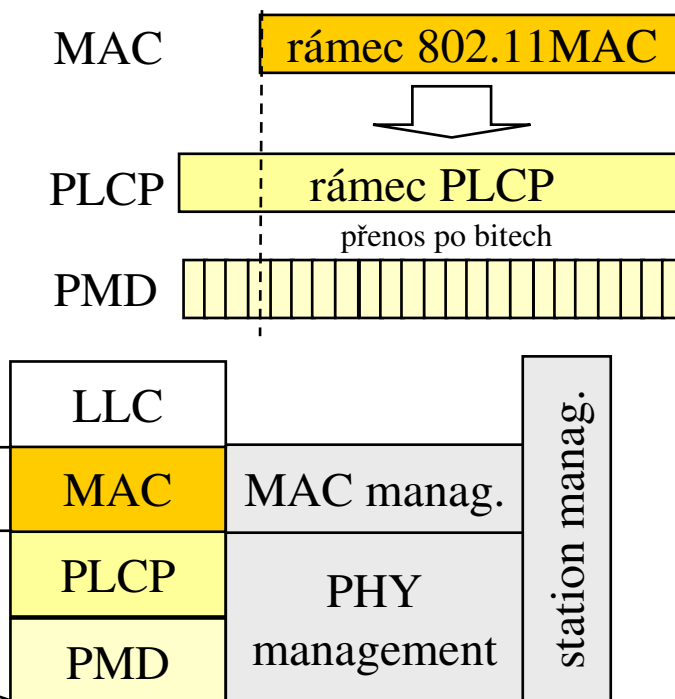
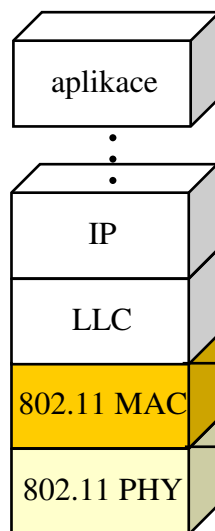
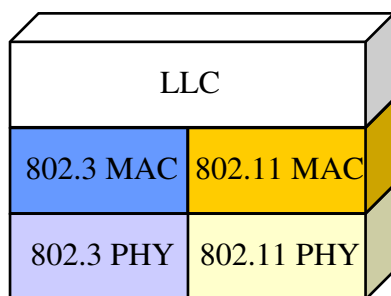
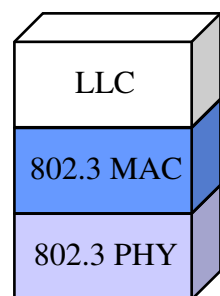
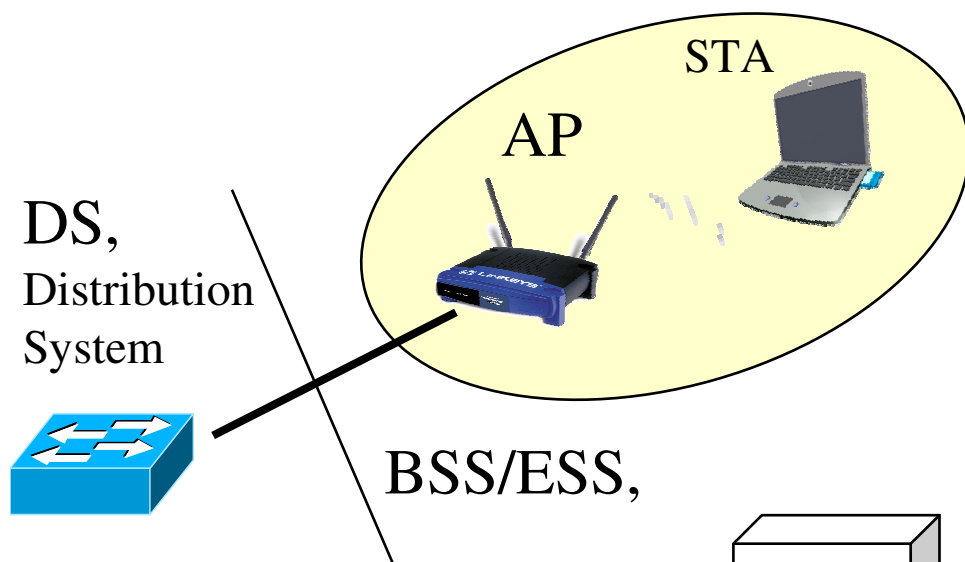
- fyzická vrstva IEEE 802.3 je ve skutečnosti rozdělena do dvou podvrstev

- vyšší: PLCP

- Physical Layer Convergence Protocol
- zajišťuje detekci nosné a rozhraní k PMD

- nižší: PMD

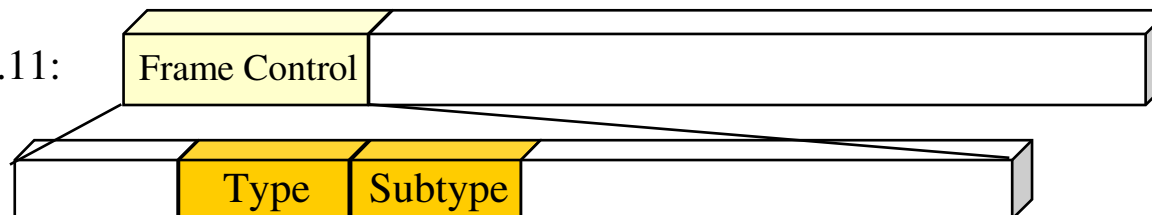
- Physical Media Dependent
- zajišťuje modulaci a kódování signálů



druhy a formáty rámců

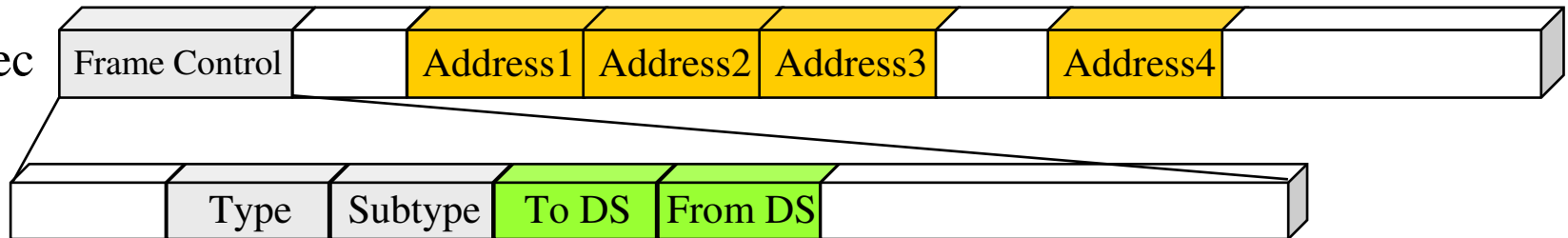
- bezdrátové sítě dle IEEE 802.11 používají různé druhy rámců:
 - **PLCP rámce**
 - jsou závislé na řešení na úrovni PMD:
 - PLCP rámce pro FHSS
 - PLCP rámce pro DSSS
 - zajišťují funkce související s šířením signálu
 - zejména indikují rychlost, s jakou jsou přenášena data
 - **MAC rámce**
 - **řídící rámce** (Control Frames)
 - RTS/CTS, pro fungování přístupové metody
 - ACK, pro potvrzování přijatých datových rámců
 - **rámce pro správu** (Management Frames)
 - Beacon ("maják")
 - » využívá AP k inzerování své přítomnosti
 - Probe, Probe Response
 - » pro zjišťování přítomnosti a schopnosti uzlů
 - Association Request/Response
 - » žádost/odpověď na asociaci stanice s AP
 - Re-association Request/Response
 - » žádost/odpověď na asociaci s jiným AP v téže ESS
 - Disassociation
 - » žádost o ukončení asociace stanice s AP
 - Authentication
 - » žádost o autentizaci uzlu vůči AP
 - De-authentication
 - » žádost o ukončení autentizace uzlu vůči AP
 - **datové rámce** (Data Frames)

MAC rámec IEEE 802.11:



adresy v MAC rámcích

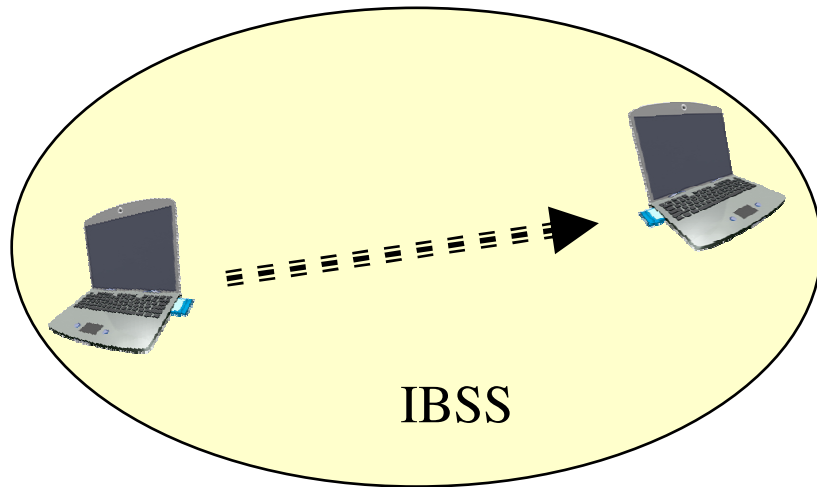
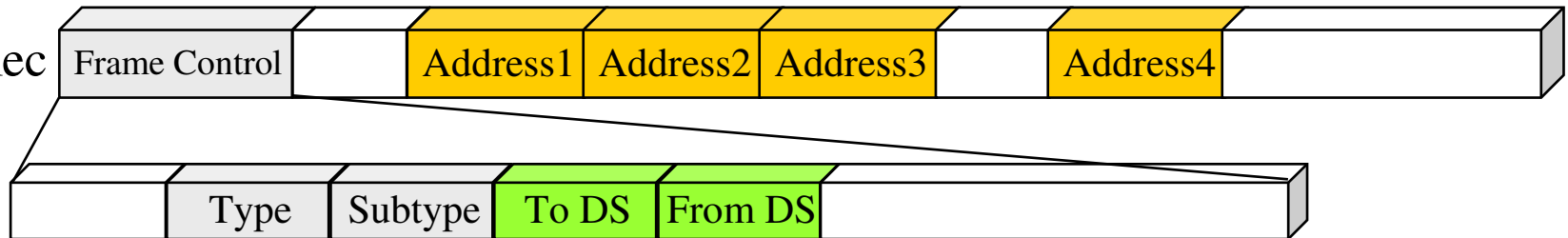
Mac rámec



- v MAC rámcích IEEE 802.3 se uvádí jen dvě adresy
 - MAC adresy odesílatele a příjemce
- v MAC rámcích IEEE 802.11 se uvádí až 4 adresy
 - kvůli tomu, že komunikace může "přestupovat" přes přístupové body (AP) a procházet přes distribuční systém (DS)
 - "logický" a "fyzický" příjemce se mohou lišit
 - je třeba pamatovat na to, že potvrzovací rámce ACK se mohou posílat jinému uzlu, než je původní odesílatel (zdroj dat)
- je nutné rozlišit následující situace:
 - režim ad-hoc:
 - přímá komunikace dvou uzlů
 - režim infrastruktury:
 - přenos od AP ke stanici
 - přenos od stanice k AP
 - přenos přes DS
 - k rozlišení těchto 4 možností slouží dva bity
 - To DS
 - příjemcem je/není AP/DS
 - From DS
 - odesílatelem je/není AP/DS
- adresa "Address1" je vždy adresou příjemce
 - podle ní uzel posuzuje, zda se jej právě vysílaný rámec týká či netýká

adresy v MAC rámcích: ad-hoc sít'

MAC rámec

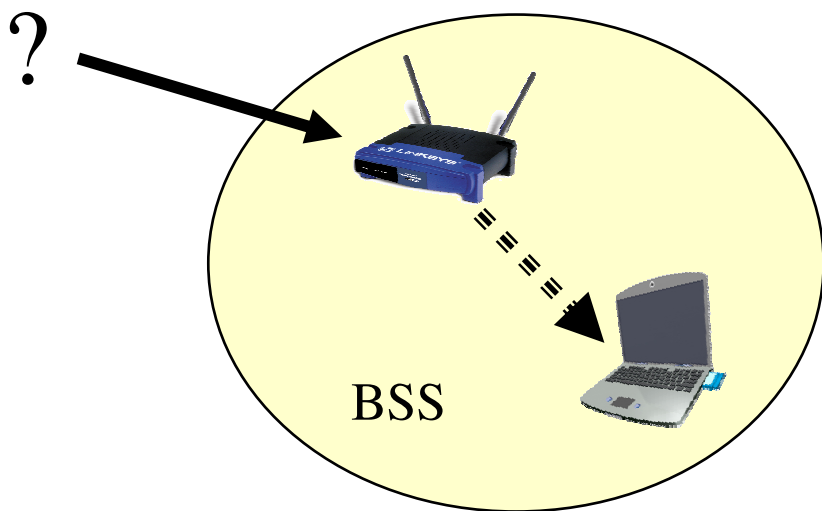
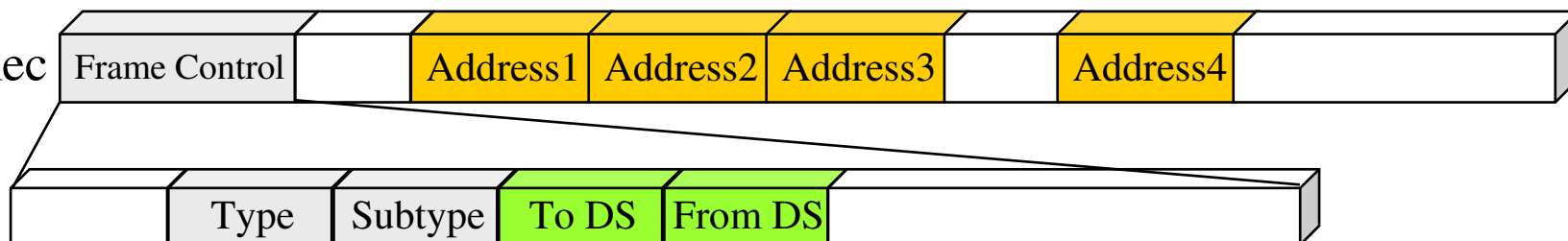


- přímá komunikace dvou uzlů
 - v režimu ad-hoc, v rámci IBSS

- To DS = 0
 - příjemcem je uzel, nikoli AP (resp. DS)
- From DS = 0
 - odesílatelem je uzel, nikoli AP (resp. DS)
- Address1:
 - DA: Destination address
 - MAC adresa příjemce
- Address2:
 - Sender Address:
 - MAC adresa odesílatele

adresy v MAC rámcích: "od AP"

MAC rámec

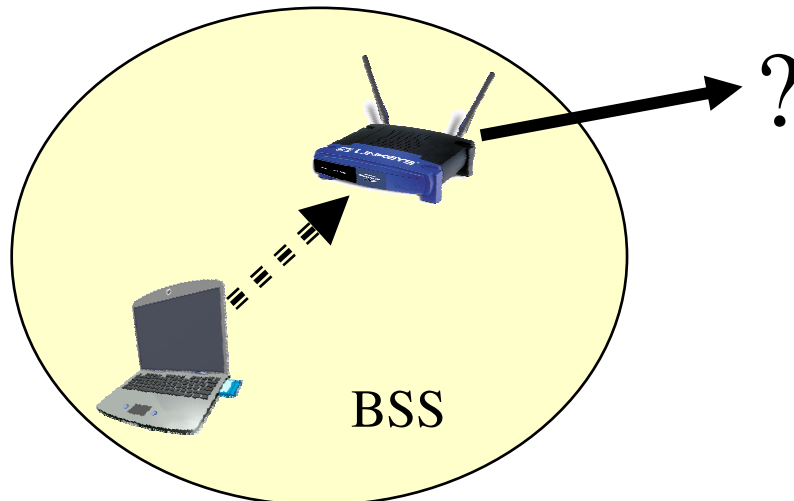
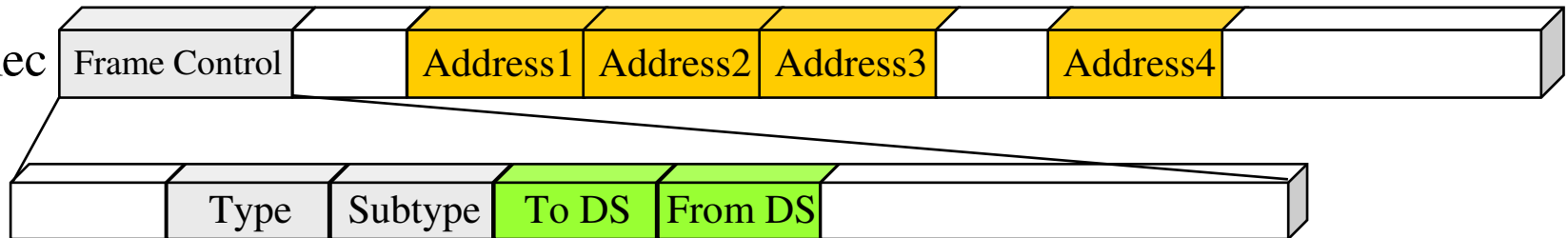


- přenos od AP ke stanici
 - v režimu infrastruktury,
 - v rámci BSS
- je třeba vzít v úvahu, že "logickým příjemcem" může být jiný uzel než je AP
 - na úrovni linkové vrstvy

- To DS = 0
 - příjemcem je uzel, nikoli AP/DS
- From DS = 1
 - odesílatelem je AP, nikoli uzel
- Address1:
 - DA (Destination Address): logický a fyzický příjemce
 - MAC adresa stanice
- Address2:
 - BSSID: fyzický odesílatel
 - MAC adresa AP
- Address3:
 - SA (Sender Address): logický odesílatel
 - MAC adresa toho uzlu, od kterého data pochází

adresy v MAC rámcích: "k AP"

MAC rámec

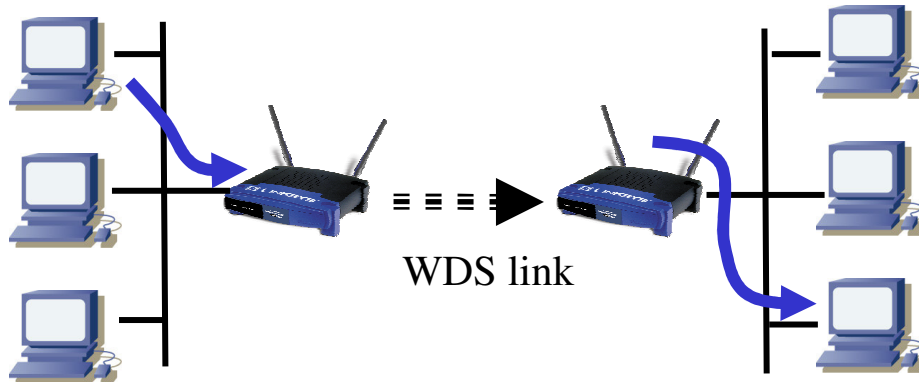
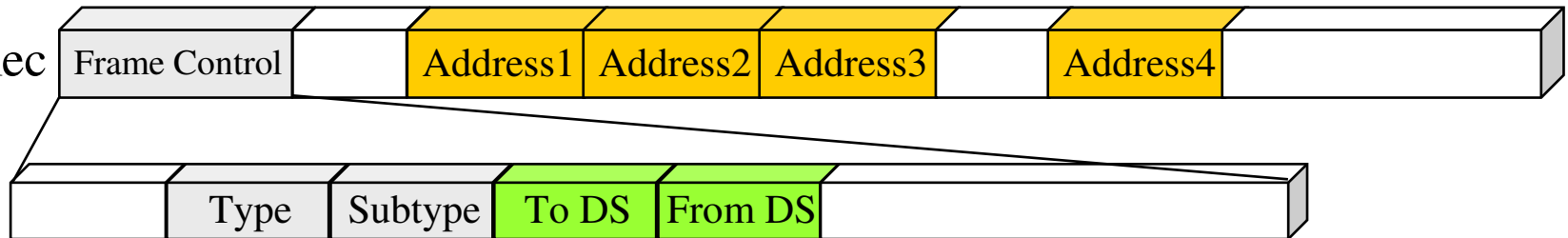


- přenos od stanice k AP
 - v režimu infrastruktury,
 - v rámci BSS
- je třeba vzít v úvahu, že "logickým příjemcem" může být jiný uzel než je AP
 - na úrovni linkové vrstvy

- To DS = 1
 - příjemcem je AP, nikoli uzel
- From DS = 0
 - odesílatelem je uzel, nikoli AP/DS
- Address1:
 - BSSID: fyzický příjemce
 - MAC adresa AP
- Address2:
 - SA (Sender Address): logický a fyzický odesílatel
 - MAC adresa stanice
- Address3:
 - DA (Destination Address): logický příjemce
 - MAC adresa toho uzlu, kterému jsou data určena

adresy v MAC rámcích: "přes DS"

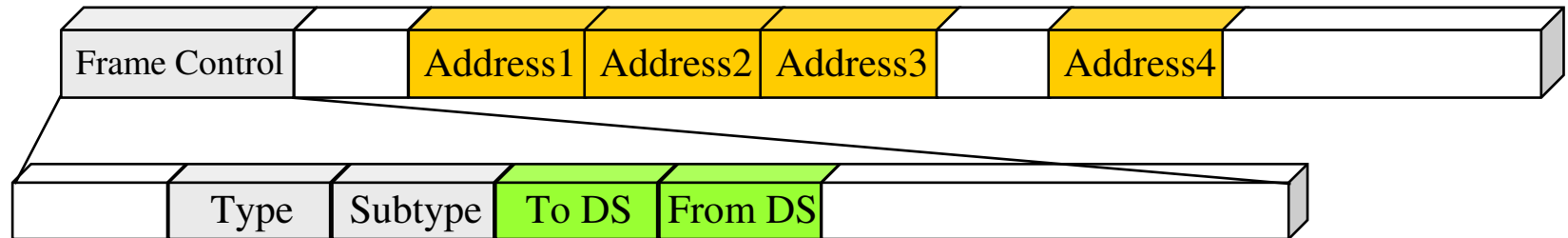
MAC rámec



- přenos mezi dvěma segmenty, které jsou propojeny na úrovni linkové vrstvy pomocí WDS (Wireless Distribution System)
 - data si fyzicky předávají přístupové body (AP)
 - logickým odesílatelem i příjemce jsou ale jiné uzly než tyto AP

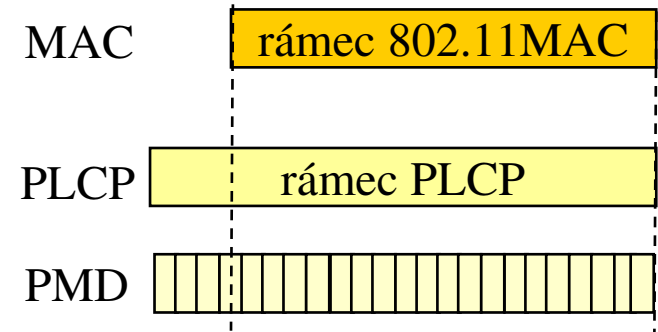
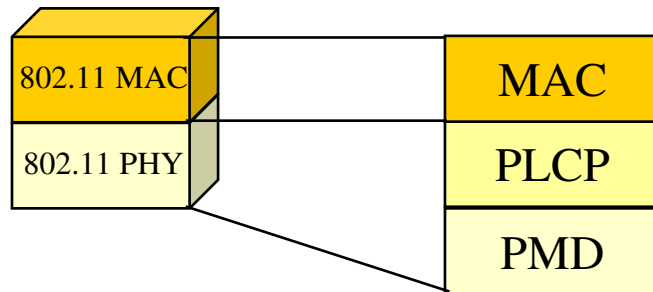
- To DS = 1
 - příjemcem je AP/DS, nikoli uzel
- From DS = 1
 - odesílatelem je AP/DS, nikoli AP/DS
- Address1:
 - RA, Receiver Address: fyzický příjemce
 - MAC adresa přijímajícího AP
- Address2:
 - TA (Transmitter Address): fyzický odesílatel
 - MAC adresa odesílajícího AP
- Address3:
 - Destination Address: logický příjemce
 - MAC adresa toho uzlu, kterému jsou data určena
- Address4:
 - SA (Sender Address): logický odesílatel
 - MAC adresa uzlu, od kterého data pochází

Další údaje z MAC rámců

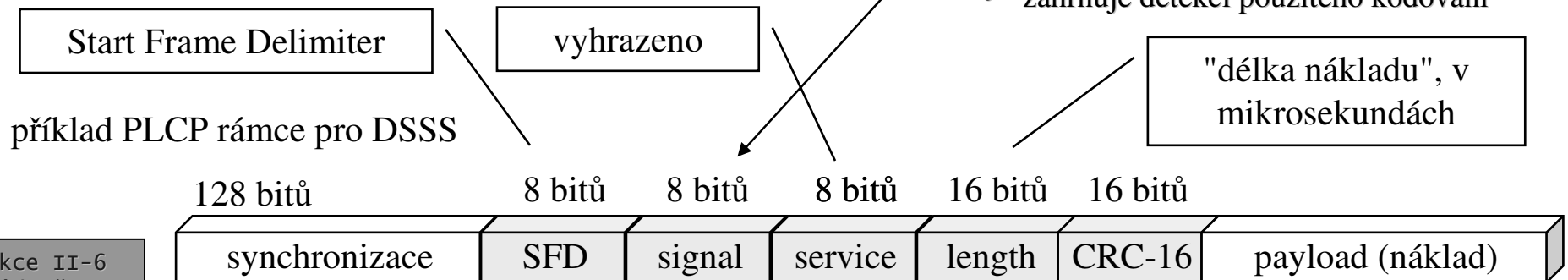


- v položce "Frame Control" je (mj.):
 - **verze protokolu:**
 - **Retry:**
 - příznak, zda jde o opakovaný přenos
 - **Power Management:**
 - 1: po odvysílání rámce přechází odesílatel do úsporného režimu (power-save mode)
 - 0: nepřechází
 - **More Data:**
 - že budou následovat ještě další data
 - příjemce může využít pro rozhodnutí, zda přejít/nepřejít do úsporného režimu
 - **WEP (Wired Equivalent Privacy)**
 - zda je/není použito zabezpečení pomocí WEP
- v MAC rámci jsou dále položky:
 - **Duration/ID**
 - doba, po kterou bude médium obsazeno
 - pro varianty přístupové metody s RTS/CTS, pro nastavení vektoru NAV
 - **Sequence Control:**
 - rámce jsou číslovány, kvůli potvrzování
 - **Data:**
 - přenášená data (max. 2312 bytů)
 - **Checksum (CRC):**
 - v rozsahu 32 bitů

rámce PLCP



- fyzická vrstva se rozpadla na dvě podvrstvy:
 - PLCP (Physical Layer Convergence Protocol)
 - PMD (Physical media Dependent)
- podvrstva PLCP má vlastní rámce
 - zajišťují "podporu" příslušnému způsobu bezdrátového přenosu
 - rámce PLCP se liší pro FHSS, DSSS a DFT
- rámce PLCP umožňují zajistit:
 - synchronizaci příjemce a odesílatele
 - a nastavit "technické parametry příjmu"
 - kompenzaci frekvenčního posunu
 - detekci vysílacího výkonu (pro rozpoznání obsazeného média)
 - ...
 - zjistit (datovou) přenosovou rychlost
 - původně jen 1 Mbit/s a 2 Mbit/s
 - zahrnuje detekci použitého kódování



úspora napájení - power management

- stanice jsou často napájeny z baterií
 - musí proto šetřit s energií
- princip šetření:
 - vysílat jen s takovým výkonem, jaký je skutečně nutný
 - otázka regulace výkonu
 - vypínat rádiovou část (transceiver), kdykoli je to jen možné
 - funkce power managementu umožňují zjistit, kdy to možné je a kdy nikoli
- možné stavy zařízení v režimu úspory napájení:
 - awake
 - zařízení je "vzhůru" a může přijímat i vysílat
 - sleep
 - zařízení "spí" a není schopné přijímat
- principy fungování úspory:
 - když stanice přijme rámec a mají pokračovat další rámce, zůstane "vzhůru"
 - dozví se to skrze příznak "More Data" v položce Frame Control MAC rámce
 - stanice, která "spí", se musí pravidelně probouzet a zjišťovat, zda nejsou pro ni připravena data
 - odesílatel (AP) musí dočasně bufferovat (uchovávat) data, určená spícím stanicím
- musí existovat mechanismy, které umožňují:
 - určit stanicím, kdy se mají "probudit"
 - **TSF, Timing Synchronization Function**
 - určit stanicím, zda jsou pro ně připravena nějaká data k přenosu (v bufferech odesílatele)
 - **TIM, Traffic Indication Map**
 - v podstatě vektor, udávající pro které stanice je co připraveno

TSF, TIM - beacon frames



- **TSF** (Timing Synchronization Function)
počítá s pravidelným rozesíláním speciálních management rámců
 - "beacon frame"
 - angl. beacon = maják
- v sítích v režimu infrastruktury je rozesílá přístupový bod AP
 - v ad-hoc sítích je to složitější
 - snaží se vysílat všechny uzly, ale "vítězí" jen jeden
- beacon rámce jsou rozesílány pravidelně
 - interval není pevně stanoven
 - AP si jej může volit sám
 - obvykle každých 100 ms
 - ne vždy se vyslání beacon rámce podaří přesně včas
 - kvůli obsazenému médium
 - pak se vyslání rámce může opozdit
 - čeká se dokud nebude médium volné
 - ale původně naplánované intervaly se nemění
 - další rámec se snaží odvysílat v původně určeném okamžiku
- beacon rámce by měly přijímat i "spící" stanice
 - měly by se pravidelně probouzet a přijímat
- co beacon rámce obsahují:
 - beacon interval:
 - údaj o tom, za jak dlouho je plánováno vyslání dalšího beacon rámce
 - podle tohoto údaje se spící stanice dozví, kdy by se měla zase vzbudit
 - timestamp (časové razítko):
 - slouží k tomu, aby si stanice udržovaly své hodiny v synchronizaci
 - **TIM** (Traffic Indication Map)
 - vektor s informacemi o tom, pro které stanice jsou v AP připravena v bufferu data
 - SSID (Service Set identifier)
 - fakticky jméno sítě
 - (všesměrové) vysílání tohoto údaje v rámci beacon rámce lze potlačit
 - podporované rychlosti přenosu
 - jakými rychlostmi dokáže AP přenášet data
 - "schopnosti"
 - indikace toho, co musí splňovat stanice, aby se mohly zapojit (asociovat) do sítě
 - např. povinnost používat WEP
 - "další parametry"
 - např. u FHSS podrobnosti o "plánu přeskoků"

Roaming

- přechod mezi přístupovými body je v terminologii IEEE 802.11 obvykle označován jako **roaming**
 - vhodnější by ale bylo "handover" či "handoff", jako v mobilních (buňkových) sítích
- standard IEEE 802.11 však roaming nedefinuje
 - neříká, jak mají přístupové body a DS komunikovat a spolupracovat na vzájemném předávání si stanic
 - teprve novější doplněk 802.11f definuje podporu roamingu
 - skrze IAPP, Inter-Access Point Protocol
- roaming si ale mohou zajistit stanice samy
 - i bez specifické podpory roamingu ze strany AP
- postup roamingu (z pohledu stanice):
 - stanice usoudí, že komunikace se stávající AP není dostatečně kvalitní (vůbec možná), a začne hledat jiný AP
 - hledání nového AP může být:
 - pasivní (passive scanning)
 - stanice pouze přijímá beacon rámce, a na jejich základě se rozhoduje
 - aktivní (active scanning):
 - stanice sama vysílá rámce "probe" na všech kanálech
 - čeká na "probe response", ze které získá potřebné údaje o novém AP
 - rámec "probe response" je obdobný beacon rámcí, jen neobsahuje časové razítko
 - stanice vybírá z dostupných AP nejvhodnější
 - na základě síly signálu
 - stanice posílá zvolenému AP žádost o přidružení
 - association request
 - pokud AP přijme žádost, vrátí kladnou odpověď
 - association response
 - AP, který žádost akceptoval, předá informaci o nové stanici do svého DS
 - aby tato byla dostupná i z ostatních BSS

v praxi je kolem roamingu mnoho proprietárních řešení, nekompatibilit a dalších problémů