

Počítačové sítě, v. 3.0



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

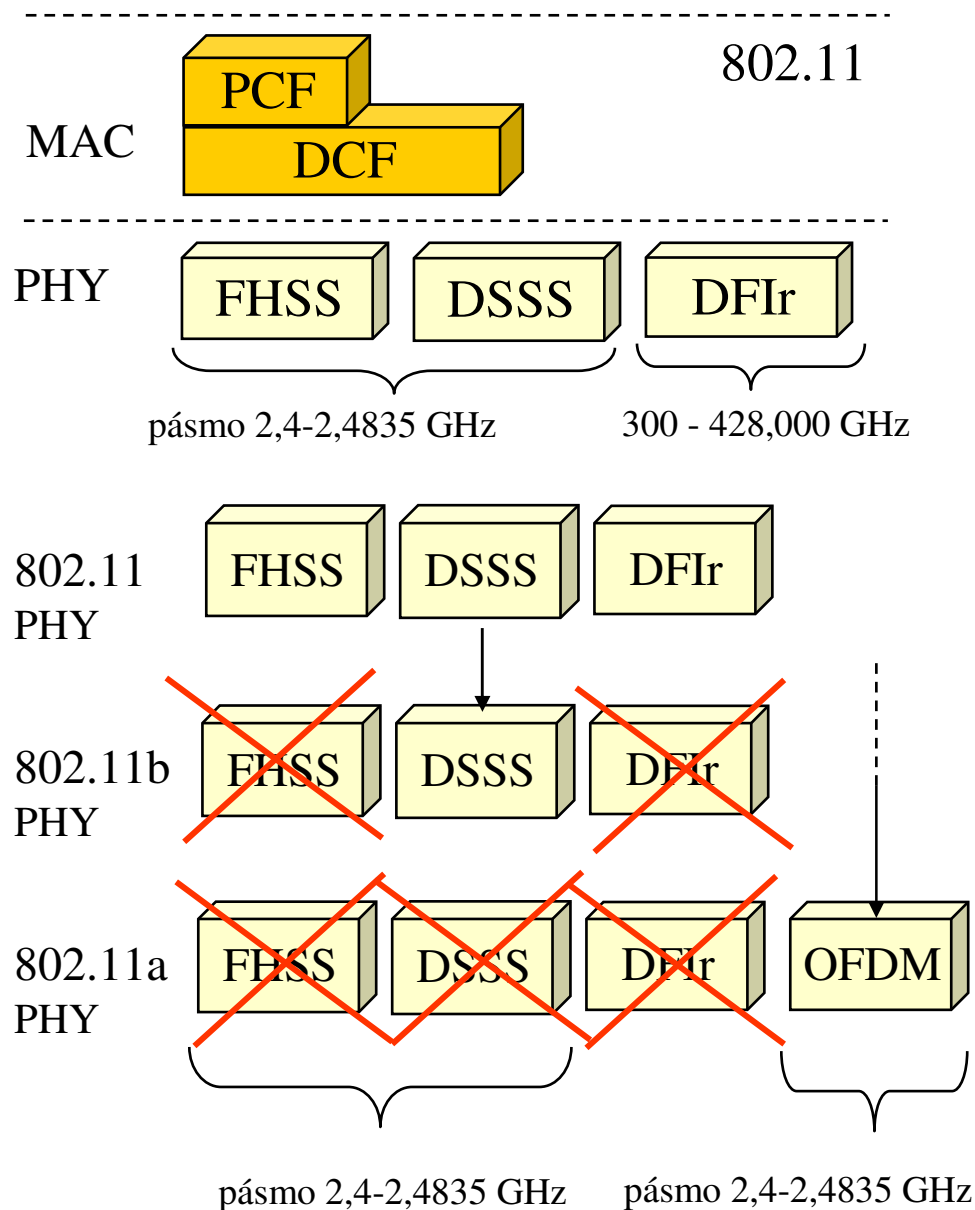


Lekce 7: IEEE 802.11 – II.

J. Peterka, 2005

připomenutí – standard 802.11

- 1997: dosažena dohoda na společném standardu
 - **IEEE 802.11**
 - "bezdrátový Ethernet"
- 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)
- 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

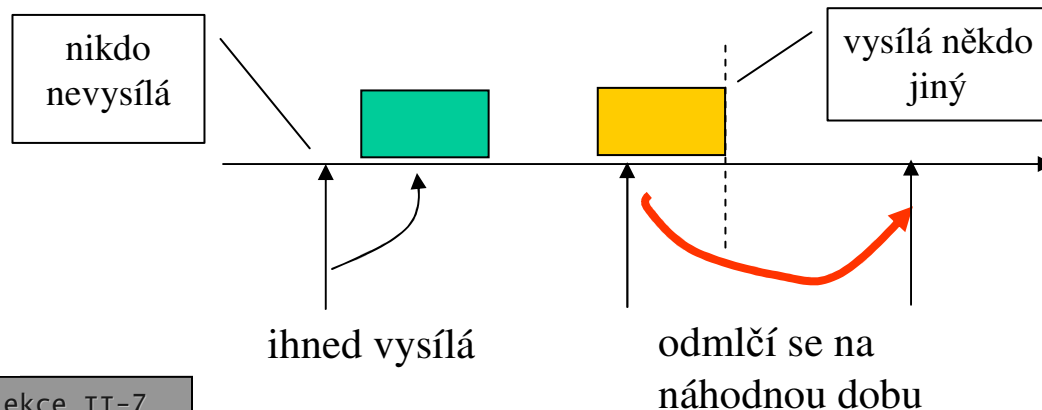


připomenutí: přístupové metody 802.11

- jsou celkem 3
- **DCF (Distributed Coordination Function)**
 - nemá žádný centrální prvek/autoritu
 - (pod)varianta CSMA/CA
 - povinná
 - (pod)varianta CSMA/CA s výměnou RTS/CTS
 - volitelná, implementovaná v "lepších" produktech
 - používá se spíše pro "venkovní" komunikaci
- **PCF (Point Coordination Function) – volitelná varianta**
 - AP (přístupový bod) řídí veškerou komunikaci, ke kolizím vůbec nedochází
 - v praxi není (zatím) implementováno
- používá se potvrzování
 - rádiové rozhraní uzlů je obvykle pouze poloduplexní. Kvůli tomu vysílající uzel nepozná, že došlo ke kolizi
 - nedozví se, že by měl přenos opakovat
 - rámec se proto odvysílá vždy celý
 - ale může se poškodit/ztratit i z jiných důvodů, než jen kvůli kolizi
 - např. kvůli rušení
 - řešení:
 - příjemce musí přijetí rámce explicitně potvrdit
 - posílá speciální potvrzovací rámec (ACK)
- dohromady se mechanismům MAC vrstvy u IEEE 802.11 říká **DFWMAC**
 - Distributed Foundation Wireless Medium Access Control

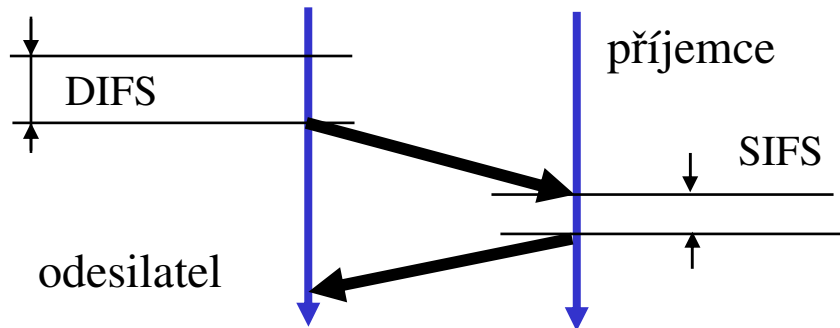
metoda DCF CSMA/CA (povinná)

- CS: zájemce o vysílání sleduje, zda právě probíhá nějaké vysílání
 - pokud ne, začne hned vysílat sám
 - odvysílá celá rámec, aniž by monitoroval eventuelní kolize
 - jeho rádiové rozhraní je poloduplexní
 - čeká na potvrzení (ACK)
 - pokud právě probíhá nějaké vysílání, odmlčí se na náhodnou dobu
 - je to 0-persistence !!!!
 - pokud během čekání probíhá nějaké vysílání, odpočítávání doby čekání je pozastaveno!!



- používá se u všech Wi-Fi zařízení, včetně těch nejlacinějších
 - v režimu ad-hoc i v režimu infrastruktury
 - nedokáže garantovat výsledek
 - uzel se nemusí dostat "ke slovu"
 - nedokáže garantovat QoS
 - nedokáže vyhradit určitou část přenosové kapacity konkrétním uzlům
 - není to úplně CA (Collision Avoidance)
 - ke kolizím může docházet
 - ale nevyhodnocují se
 - fungování je narušováno efektem "skryté stanice" a "předsunuté stanice"

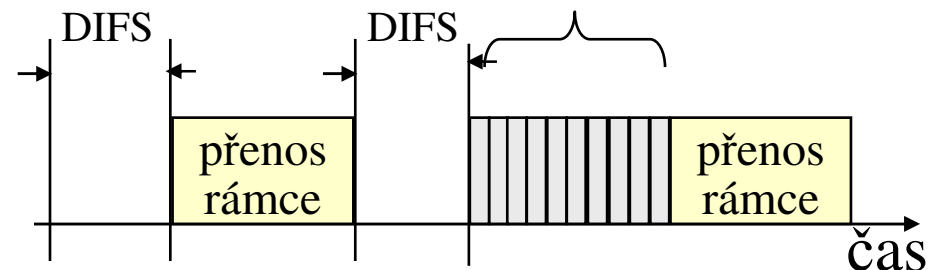
upřesnění DCF CSMA/CA



- čas se měří na **sloty**
 - 1 slot je 50 μ s pro FHSS, resp. 20 μ s pro DSSS
- používají se 3 různé časové konstanty
 - SIFS (Short Inter-Frame Spacing)**
 - jak dlouho čeká příjemce, než odešle potvrzení
 - SIFS = 10 μ s pro FHSS, resp. 28 μ s pro DSSS
 - PIFS (PCF Inter-Frame Spacing)**
 - jak dlouho čeká přístupový bod (při PCF), než může začít vysílat
 - PIFS = SIFS + 1 slot
 - DIFS (DCF Inter-Frame Spacing)**
 - jak dlouho čeká odesilatel (při DCF), než může začít vysílat
 - DIFS = SIFS + 2 sloty

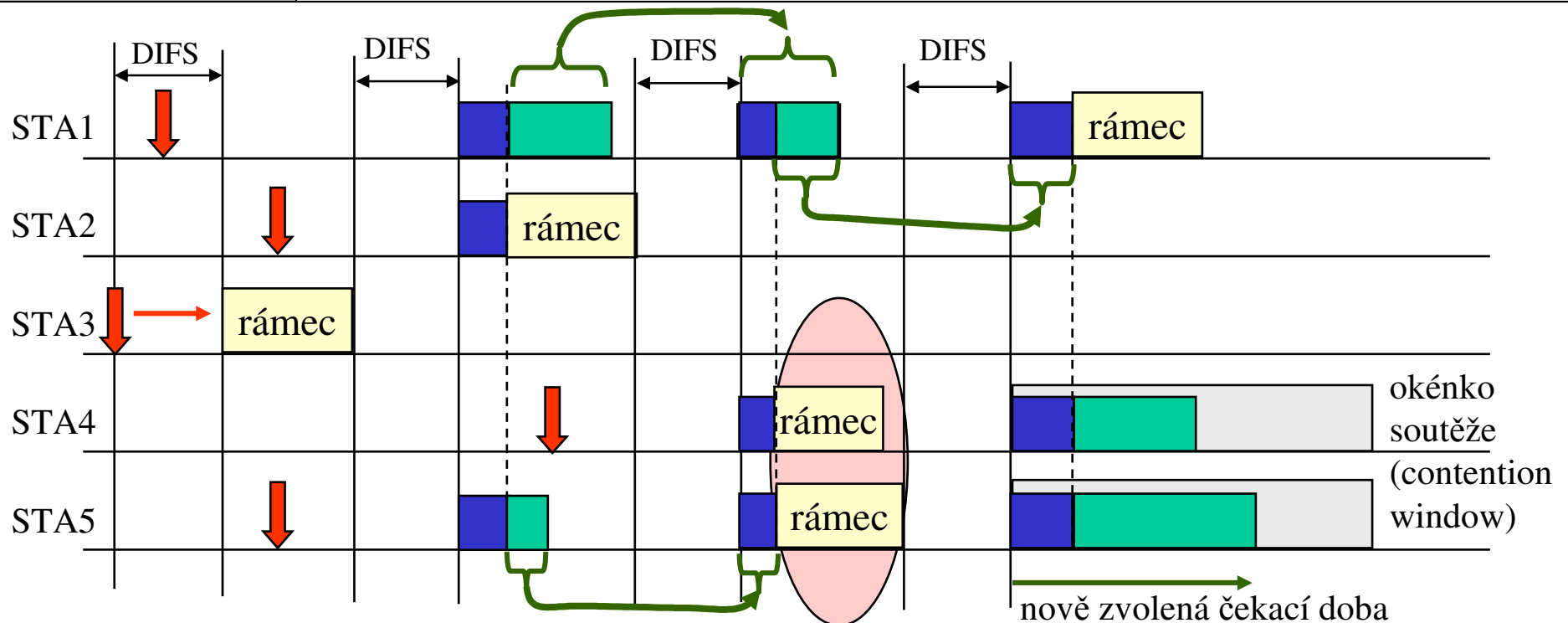
- uzel, který chce vysílat a zjistí, že médium je volné:
 - musí nejprve počkat, dokud není médium (éter) v klidu nejméně po dobu DIFS
 - a pak může začít vysílat
- pokud ale zjistí, že médium je obsazené:
 - musí znovu počkat, dokud nebude médium opět volné po dobu DIFS
 - a pak vstupuje do soutěže s ostatními uzly:
 - zvolí si náhodnou dobu (z okénka soutěže) a po tuto dobu čeká
 - pokud se dočká konce a médium je volné, může začít vysílat
 - během čekání stále monitoruje médium
 - jakmile někdo během jeho čekání začne úspěšně vysílat, uzel to vzdá
 - prohlásí toto okénko soutěže za již ztracené
 - pamatuje si, kolik mu zbývalo čekat
 - znovu čeká, dokud nebude médium po dobu DIFS volné, a pak čeká se zbytkovou hodnotou své předchozí čekací doby

okénko soutěže (contention window)



$$\text{SIFS} < \text{PIFS} < \text{DIFS}$$

příklad: DCF CSMA/CA



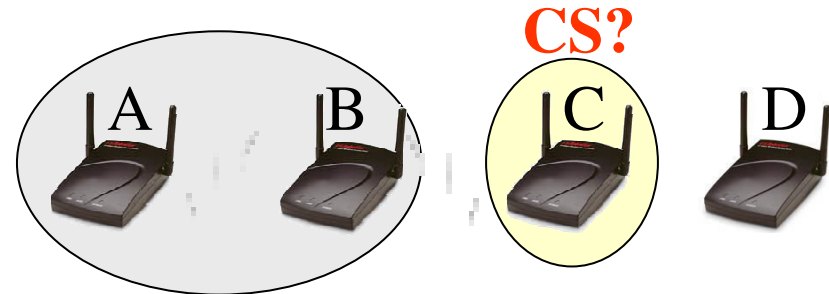
- ↓ uzel chce vysílat, a tak začíná poslouchat nosnou
- již vyčerpaná část čekací doby
- ještě nevyčerpaná část čekací doby, přenáší se do dalšího pokusu (okénka soutěže)

kolize

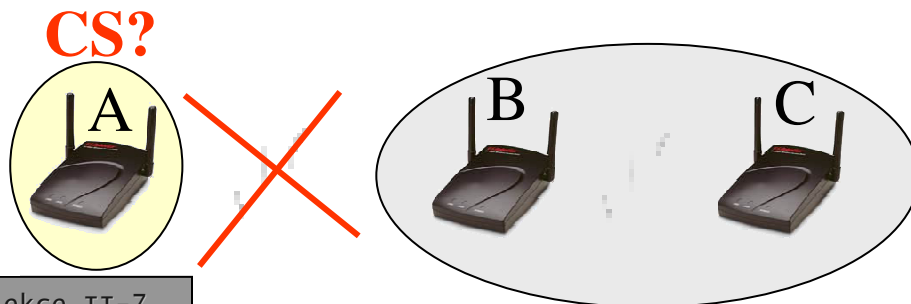
- uzly volí čekací dobu z okénka soutěže
 - na počátku má velikost 7 slotů
 - při každé kolizi se zvětší na 2-násobek
 - maximálně na 255 slotů
- čím menší je okénko, tím menší je latence
 - ale také větší pravděpodobnost kolize

připomenutí: problém předsunuté a skryté stanice

- "rozlehlejší" sítě 802.11 mohou mít problém se skrytými a předsunutými stanicemi
 - např. "venkovní" sítě, kde jsou uzly seřazeny do linie
- problém skryté stanice
 - médium je "obsazeno", ale uzel se to nedozví
 - příklad: A chce vysílat k B, ale "neslyší" že C právě vysílá k B
 - signál od C už nedosáhne k A



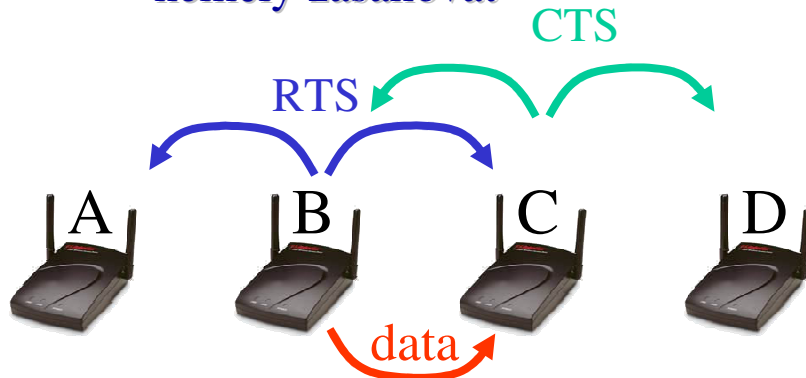
- problém předsunuté stanice
 - médium je fakticky volné, ale uzel se dozví, že je obsazeno
 - příklad: B vysílá k A, C by chtěl vysílat k D – ale zjistí, že B vysílá a domnívá se, že je médium obsazeno
- nelze detekovat kolize během vysílání
 - rádiová (RF) rozhraní jsou typicky pouze poloduplexní, a neumožňují proto současně přijímat i vysílat!!!
 - metody/CD nepřipadají v úvahu



metoda DCF CSMA/CA s RTS/CTS

- volitelná varianta
 - vyskytuje se u "lepších" (dražších) provedení Wi-Fi zařízení

- princip:
 - snaha eliminovat problémy skryté a předsunuté stanice
 - snaha upozornit "ostatní" uzly na to, že po určitou dobu bude probíhat přenos, a že by do něj neměly zasahovat

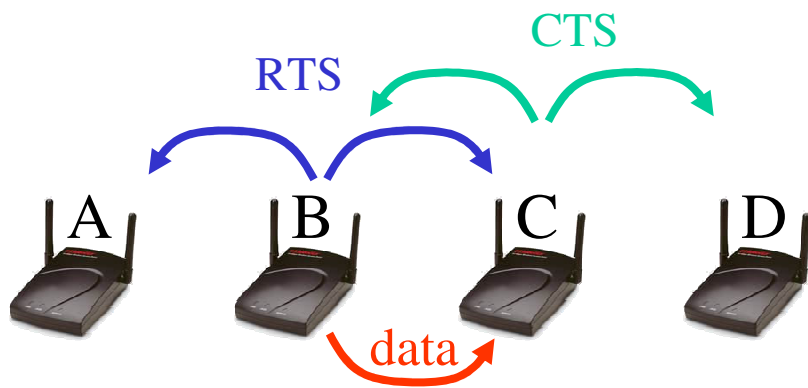
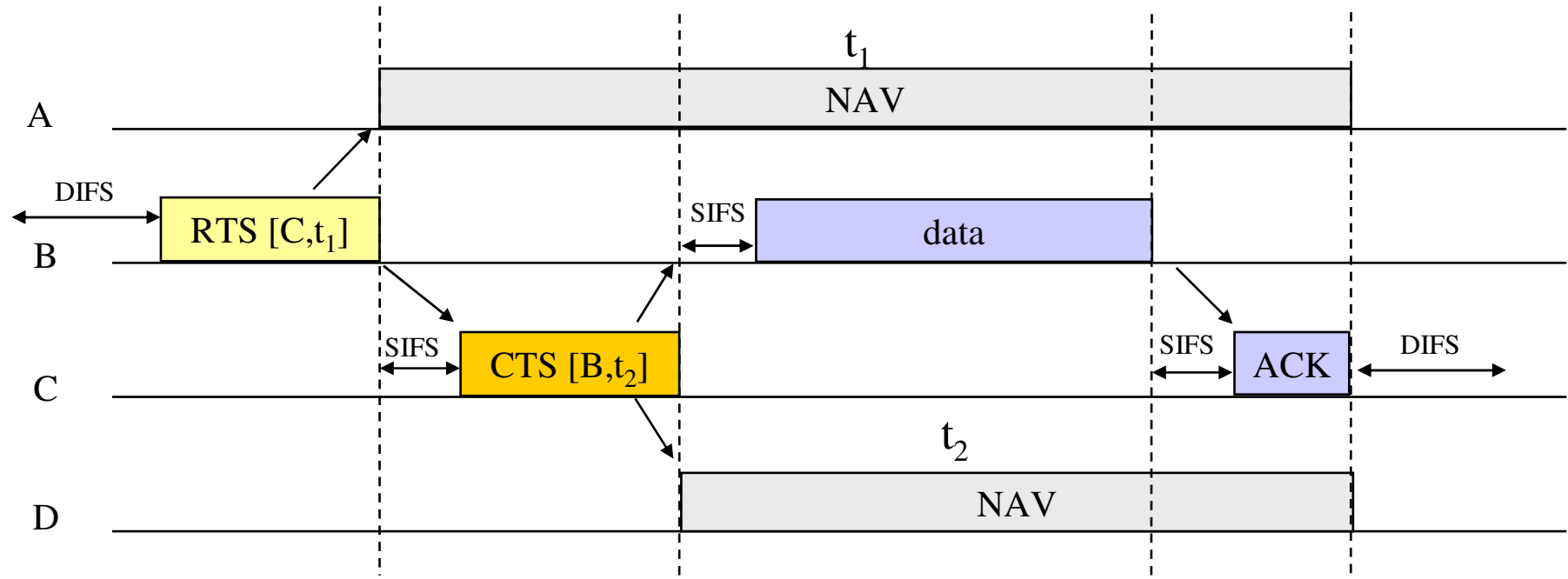


- B chce něco odvysílat k C:
 - snaží se "vyřadit" A a D, aby do toho nevstupovaly

- postup:

- B vyšle krátký rámec RTS, určený pro C
 - RTS – Request To Send
 - žádá jej o právo vysílat k uzlu C
 - říká jak dlouho bude vysílání trvat
- tento RTS rámec by měly zachytit ostatní uzly v okolí uzlu B (např. A)
 - měly by si z něj odvodit, jak dlouho bude B vysílat
 - nastaví si "stopky", v podobě vektoru **NAV**
 - **Network Allocation Vector**
- C odpoví krátkým rámcem CTS
 - CTS – Clear To Send
 - signalizuje připravenost k příjmu,
 - říká, jak dlouho bude přenos trvat
- tento CTS rámec by měly zachytit ostatní uzly v dosahu uzlu C (např. D)
 - nastaví si svůj NAV
- pak probíhá samotný datový přenos
 - ostatní uzly čekají na konec vysílání (podle "stopek" v podobě vektoru NAV)
 - během čekání se ostatní uzly nesnaží samy vysílat

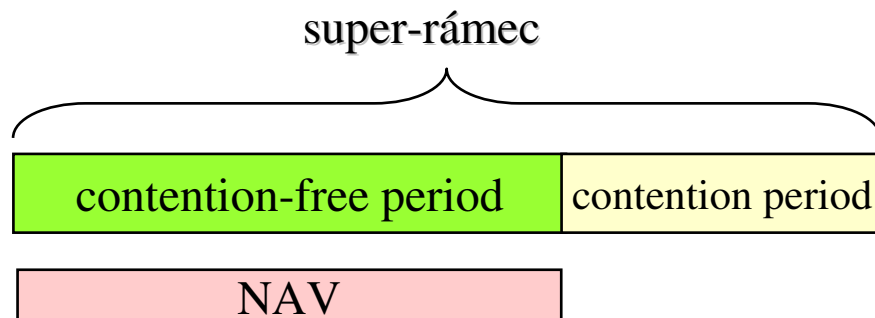
metoda DCF CSMA/CA s RTS/CTS příklad



- B chce přenést nějaká data k uzlu C
 - B a C si nejprve vymění rámce RTS a CTS
 - Request to Send a Clear to Send
- rámce RTS a CTS obsahují i údaj o tom, jak dlouho bude přenos trvat
 - "okrajové" uzly si podle těchto údajů nastaví své vektory NAV a příslušnou dobu čekají

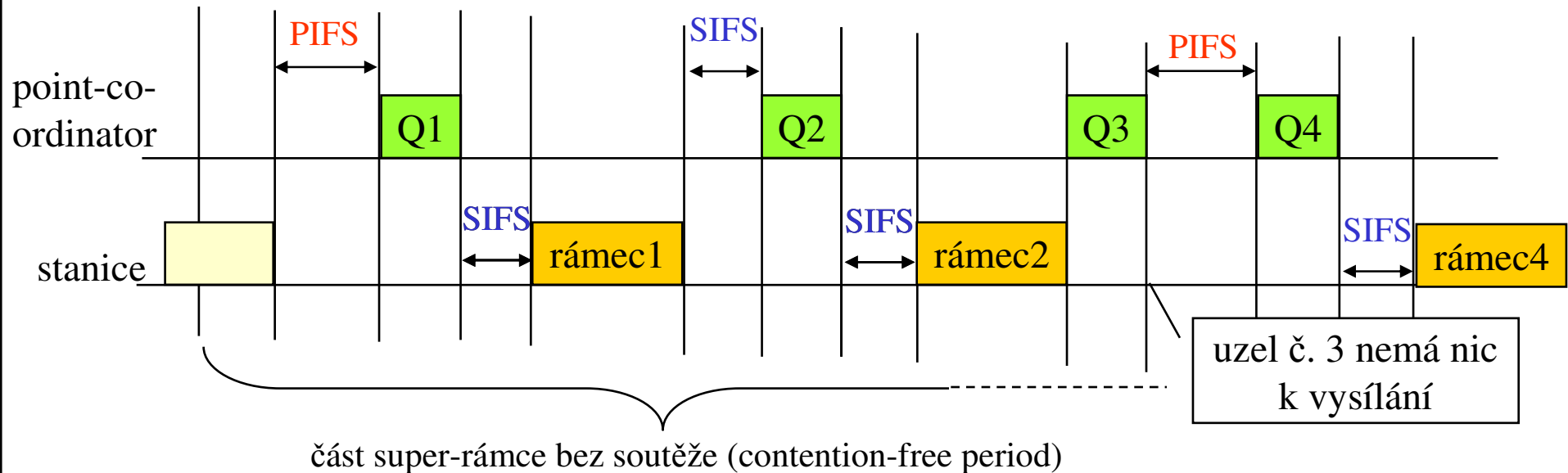
metoda PCF (DFWMAC-PCF)

- ani jedna z "distribuovaných" metod (DCF) nedokáže zajistit přístup k médiu
 - v konečném čase t , resp. garantovat propustnost
- to dokáže až metoda PCF (Point-Coordination Function)
 - je ale vázána na režim infrastruktury
 - vyžaduje existenci přístupového bodu, který vykonává řídicí funkce
 - není dostupná v režimu ad-hoc
- princip fungování DFWMAC-PCF:
 - AP je "point-co-ordinator"
 - řídí veškerou komunikaci,
 - jde tedy o centralizovanou přístupovou metodu
 - AP rozděluje čas na tzv. super-rámce (superframe)
 - každý super-rámec má dvě části:
 - bez soutěže (contention-free period)
 - se soutěží (contention period)
 - během této fáze se používá DCF
 - během fáze bez soutěže (contention-free period) se AP (koordinátor) explicitně dotazuje jednotlivých uzlů, zda mají co k odeslání
 - jde o tzv. polling



stanice mají zakázáno snažit se (samy) o vysílání

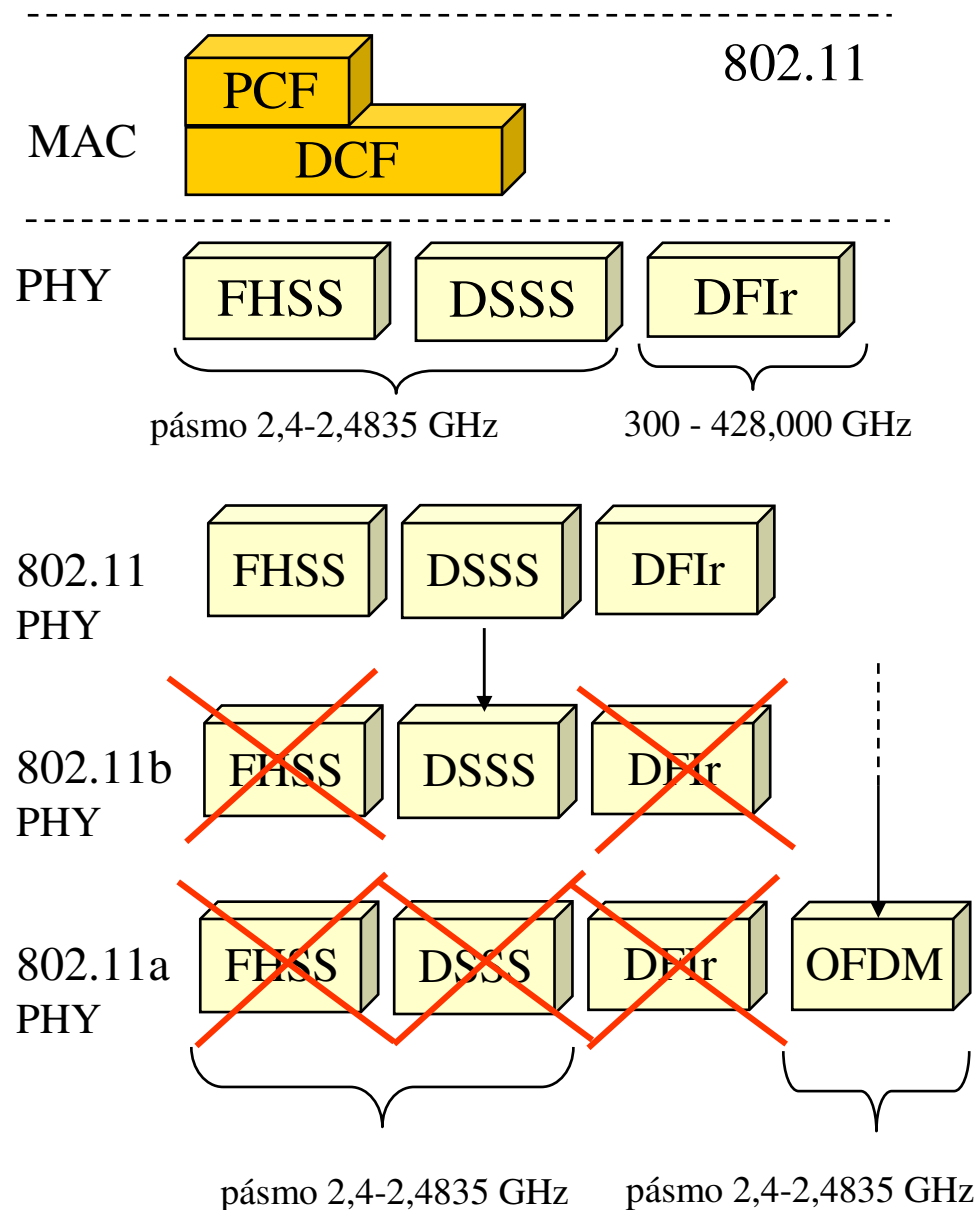
metoda PCF - příklad



- platí $SIFS < PIFS < DIFS$
- koordinátor nejprve čeká na volné přenosové médium
- pak čeká dobu PIFS (PCF Inter-Frame Spacing)
 - kratší než DIFS, takže jiný uzel by neměl začít vysílat sám v režimu DCF (bez koordinátora)
- koordinátor vyšle výzvu uzlu 1
 - uzel 1 reaguje za dobu SIFS (Short Inter-Frame Spacing) a odešle svůj rámeček
 - má-li co vysílat
- koordinátor pokračuje po době SIFS ($< PIFS$)
 - pokud dotázaný uzel odpoví
 - jinak koordinátor pokračuje až po době PIFS
- vše se opakuje s uzlem 2
 - a pak s uzlem 3
- uzel 3 nemá co vysílat
 - v době SIFS neodpoví
 - koordinátor musí čekat po dobu $PIFS > SIFS$, pak pokračuje dotazováním dalšího uzlu

připomenutí – standard 802.11

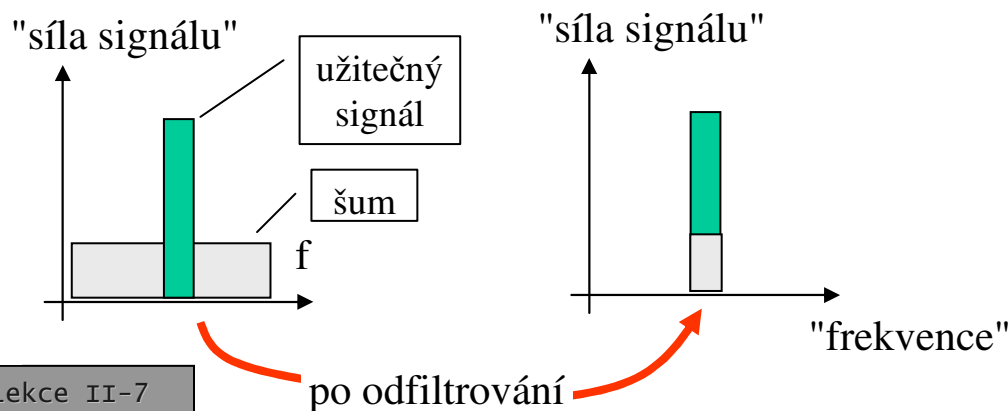
- 1997: dosažena dohoda na společném standardu
 - **IEEE 802.11**
 - "bezdrátový Ethernet"
- pokrývá:
 - **podvrstvu MAC (řízení přístupu):**
 - varianta PCF
 - Point Coordination Function
 - varianta DCF
 - Distributed Coordination Function
 - **fyzickou vrstvu (PHY)**
 - FHSS
 - Frequency Hopping Spread Spectrum
 - DSSS
 - Direct Sequence Spread Spectrum
 - DFIR
 - Diffused Infrared (v praxi se neprosadilo)
- 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



vysílání v úzkém pásmu a v rozprostřeném spektru (Narrowband, vs. Spread Spectrum)

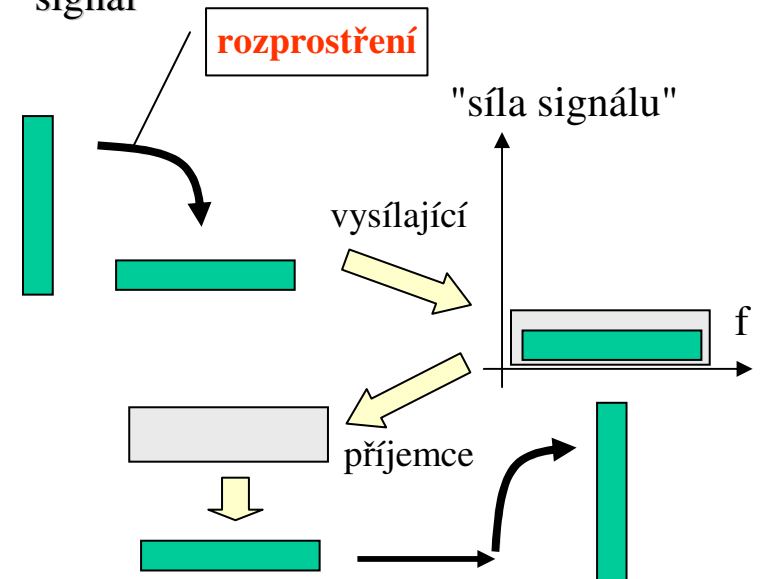
- vysílání v úzkém pásmu

- vysílá se v úzkém rozsahu frekvencí
 - energie vysílače je soustředěna do úzkého rozsahu frekvencí
- rušení (šum) je širokopásmové
 - rozprostřené do širšího spektra
 - rušení ale může být i "úzkopásmové"
 - např. od nějakého jiného vysílání, od spínání v okolí apod.
- řeší se dostatečným odstupem signálu od šumu
 - poměr S/N je zde větší než 1



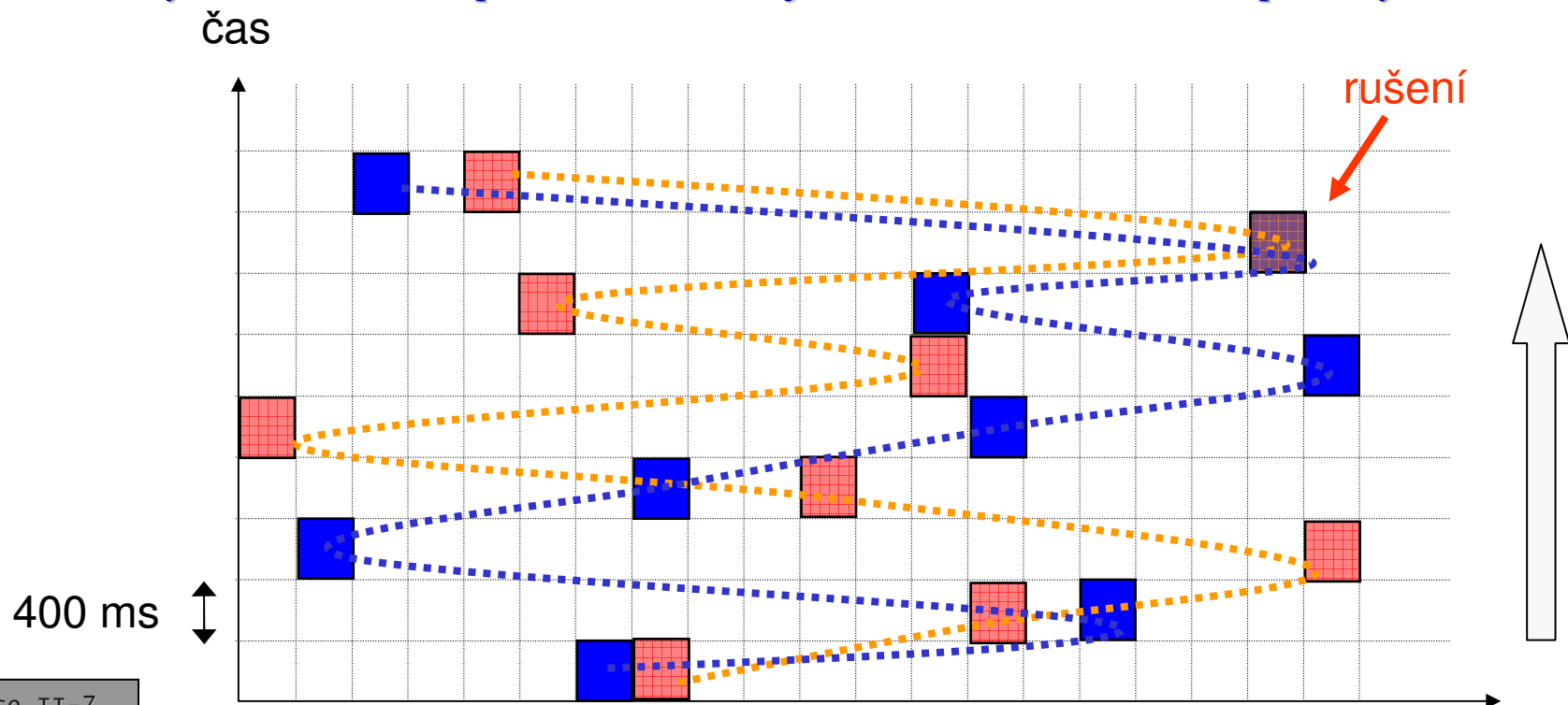
- vysílání v rozprostřeném spektru

- vysílá se v širokém rozsahu frekvencí
 - energie vysílače může být stejná, ale je rozprostřena do širšího rozsahu frekvencí
- "síla signálu" nemusí být vyšší než "síla šumu"
 - poměr "signál/šum" může být i menší než 1
 - důležité je, aby příjemce dokázal z přijatého signálu extrahovat "užitečný signál"



techniky vysílání v rozprostřeném spektru (Spread Spectrum)

- **Frequency Hopping** (s kmitočtovým skákáním nosné)
 - vysílá se na (úzkopásmové) nosné frekvenci, která se ale pravidelně přeladuje, podle (vhodně volené) pseudonáhodné posloupnosti
 - kterou musí znát vysílač i přijímač
 - může dojít k "souběhu" více vysílání na stejné frekvenci (a ke vzájemnému rušení)
 - ale je to krátké a lze se z toho zotavit !!!
 - využívá se hlavně pro eliminaci vzájemného rušení mezi více přenosy



FHSS v IEEE 802.11

- frequency hopping byl použit pouze v původní verzi standardu
 - IEEE 802.11 z roku 1997
 - s rychlostmi 1 nebo 2 Mbit/s
- už není použit ve verzích 802.11a,b z roku 1999
 - důvodem jsou striktní požadavky regulátora v USA
 - které brání dosažení vyšších rychlostí
 - ty byly posléze zmírněny
 - na základě lobbyingu od autorů HomeRF, kde se FHSS používá
- v USA použito bylo 79 kanálů
 - v Japonsku pouze 23
 - ve spodní části pásma 2,4 GHz
 - každý kanál o šířce 1 MHz
- vysílací výkon:
 - EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)
 - výstupní výkon karty + zisk externí antény – útlum kabelu
 - max. 1 W v USA
 - max. 100 mW v Evropě (i v ČR)
 - max. 10 mW v Japonsku
- pro generování sekvence přeskoků je použit pseudonáhodný generátor
 - stejný ve všech uzlech
 - stanicím stačí znát počáteční hodnotu (seed) a být synchronizovány
 - přenáší se v beacon rámcích
- "dwell time"
 - doba, po kterou se vysílač může "zdržet" na jedné frekvenci
 - je nastavitelná
 - ale nesmí být větší než 400 ms
 - odpovídá nejméně 2,5 přeskoků za sekundu
- kódování bitů:
 - rychlost 1 Mbit/s (povinná):
 - 2 stavová frekvenční modulace
 - 1 poloha signálu = 1 bit
 - rychlost 2 Mbit/s (volitelná):
 - 4 stavová fázová modulace
 - 1 poloha signálu = 2 bity
- rámec PLCP:
 - jeho hlavička je vždy vysílána rychlostí 1 Mbit/s
 - nákladová část (MAC rámec) může být vysílána rychlostí 1 Mbit/s nebo 2 Mbit/s
 - rozlišení je obsaženo v hlavičce PLCP rámce

MAC

rámec 802.11MAC

PLCP

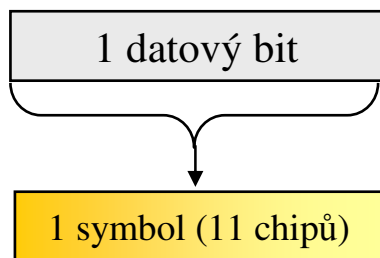
rámec PLCP

techniky vysílání v rozprostřeném spektru

- **Direct Sequence Spread Spectrum** (s přímou modulací kódovou posloupností)
 - princip: vysílá se digitální signál o vyšší modulační rychlosti (zabírá větší šířku pásma). Na něj se modulují (pomocí XOR) přenášená data
- jiný pohled:
 - místo 1 "užitečného bitu" se vyše n pseudonáhodných bitů (tzv. chipping kód), buďto v základním tvaru nebo invertovaný (XOR)

pseudonáhodná sekvence
(11-bitový Barker kód,
chipping kód)

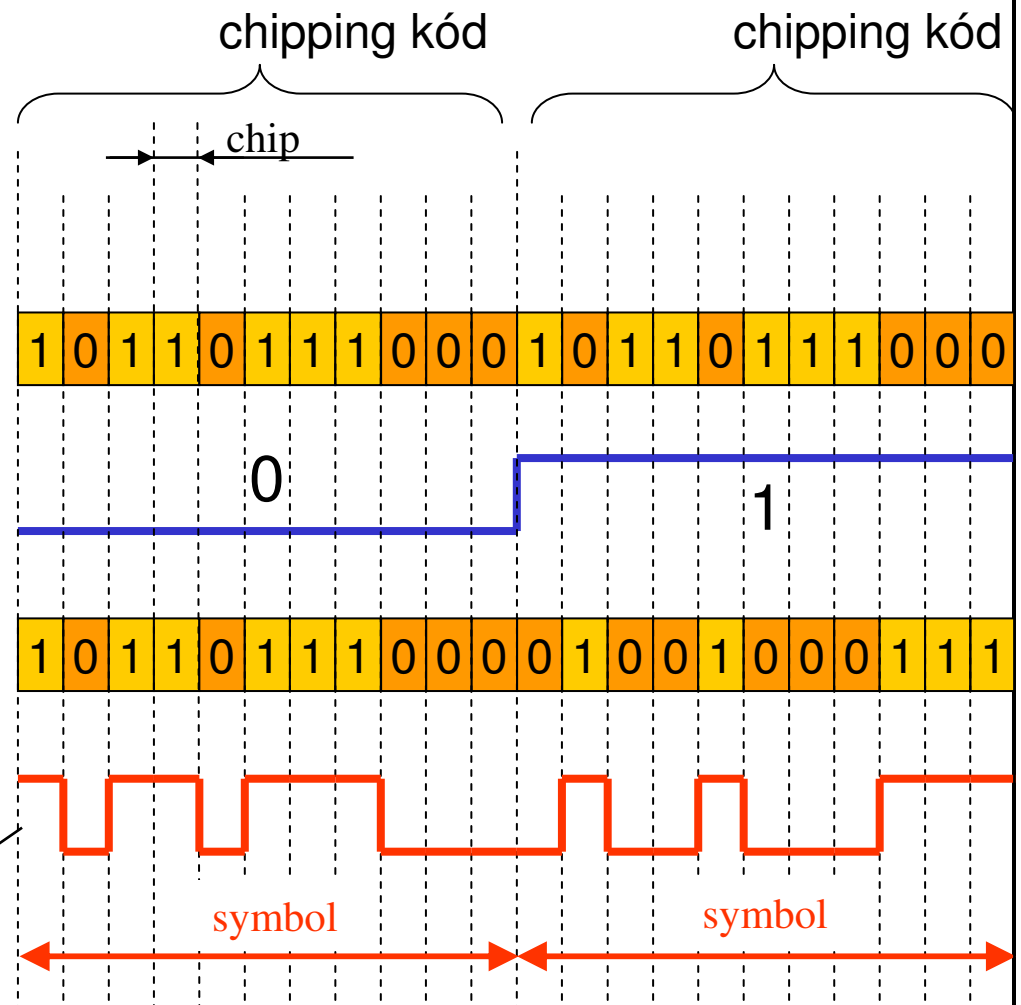
data k přenesení (01)



vysílaná sekvence
(symbol)

platí pro 2-
stavovou modulaci

střídají se 2 různé symboly



Direct Sequence Spread Spectrum - představa fungování

- vysílač místo 1 bitu vyšle n bitů (chipů)
 - kde n je šířka pseudonáhodně posloupnosti (chipping kódu)
 - příklad (bipolární, 6 chipů):
 - je-li je chipping kód roven:
 - $c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 c_6$
 - pro 1 vyšle $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$
 - pro 0 vyšle $-c_1, -c_2, -c_3, -c_4, -c_5, -c_6$
- tím "zabere" n * větší šířku přenosového pásma
 - "rozprostře se" do širšího spektra
- příjemce musí znát chipping kód odesílatele!!!
- příjemce přijme celý symbol (posloupnost n chipů)
 - např. $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$
 - může být zatížen chybami v důsledku rušení
- příjemce aplikuje chipping kód odesílatele na přijatý symbol
 - udělá s ním XOR
 - $d_1 \text{ XOR } c_1, d_2 \text{ XOR } c_2, \text{ atd.}$
 - při nezarušeném signálu vyjde:
 - $\sum d_i \text{ XOR } c_i = 6$, pokud byla přenášena 1
 - $\sum d_i \text{ XOR } c_i = -6$, pokud byla přenášena 0
 - při zarušeném signálu mohou být součty jiné
 - $0 \leq \Sigma \leq 6$ pro 1,
 - $-6 \leq \Sigma \leq 0$ pro 0,
 - přijímač vyhodnocuje 0 nebo 1 podle toho, zda
 - $\Sigma > 0$ (přijme 1)
 - $\Sigma < 0$ (přijme 0)
- pozor: rušení může být i od jiného přenosu ve stejném rozsahu frekvencí
 - pokud jsou chipping kódy vhodně voleny (jsou ortogonální), pak příjemce dokáže "odseparovat" od sebe jednotlivé přenosy
 - princip kódového multiplexu, CDMA !!!
 - u DSSS se nepoužívá !!!!

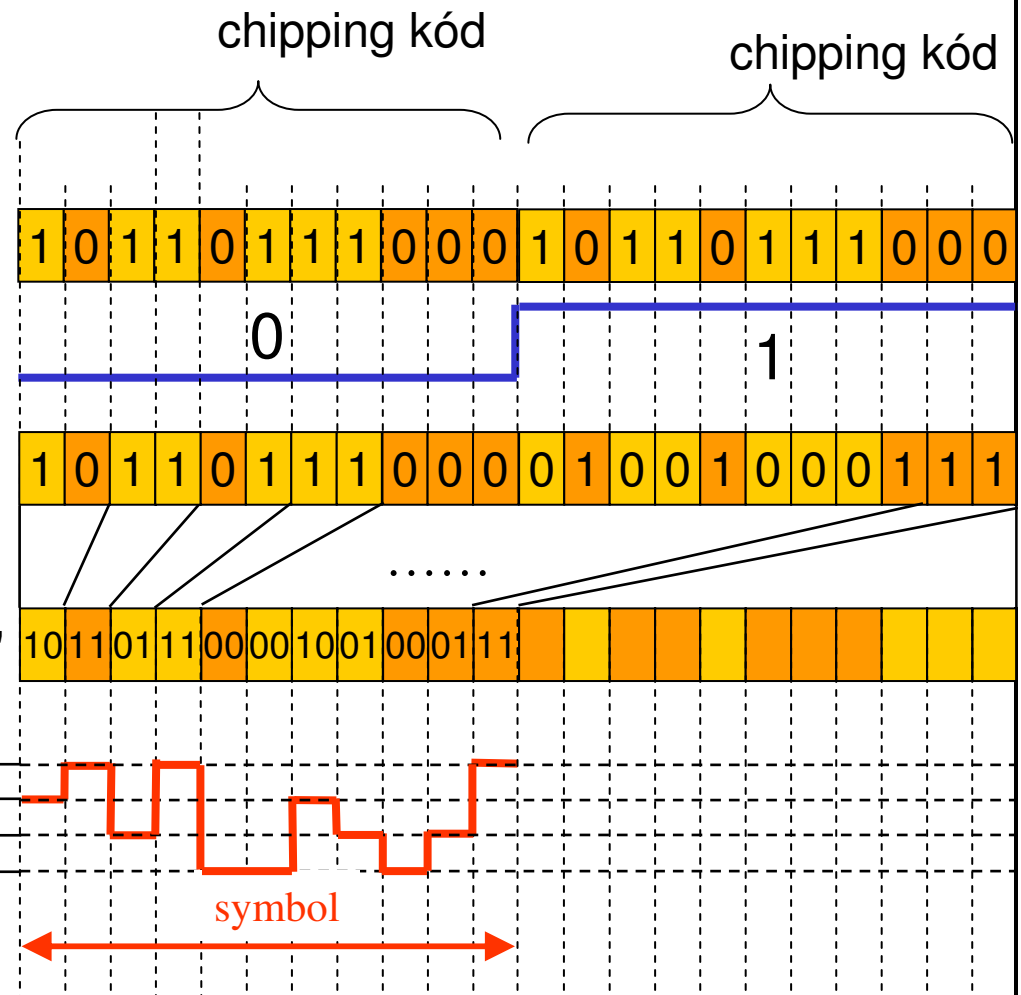
technika Direct Sequence SS je určena hlavně pro eliminaci šumu a rušení, nikoli pro sdílení (multiplex)!!

techniky vysílání v rozprostřeném spektru

- příklad varianty, kdy je využita 4-stavová modulace:
 - každý bit je znázorněn stejným chipping kódem (11 chipů)
 - vždy 2 chipy jsou kódovány 1 změnou přenášeného signálu

- výsledná rychlost přenosu (užitečných) dat je dvojnásobná

- ale počet symbolů za sekundu zůstává stejný !!
 - střídají se 4 různé symboly
- stejná je i základní frekvence přenášeného signálu

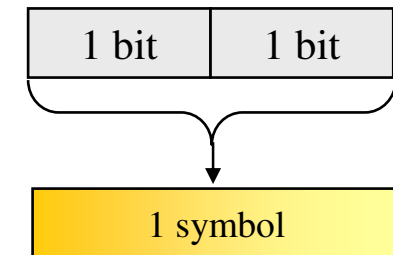


data k přenesení

vysílané "bity"

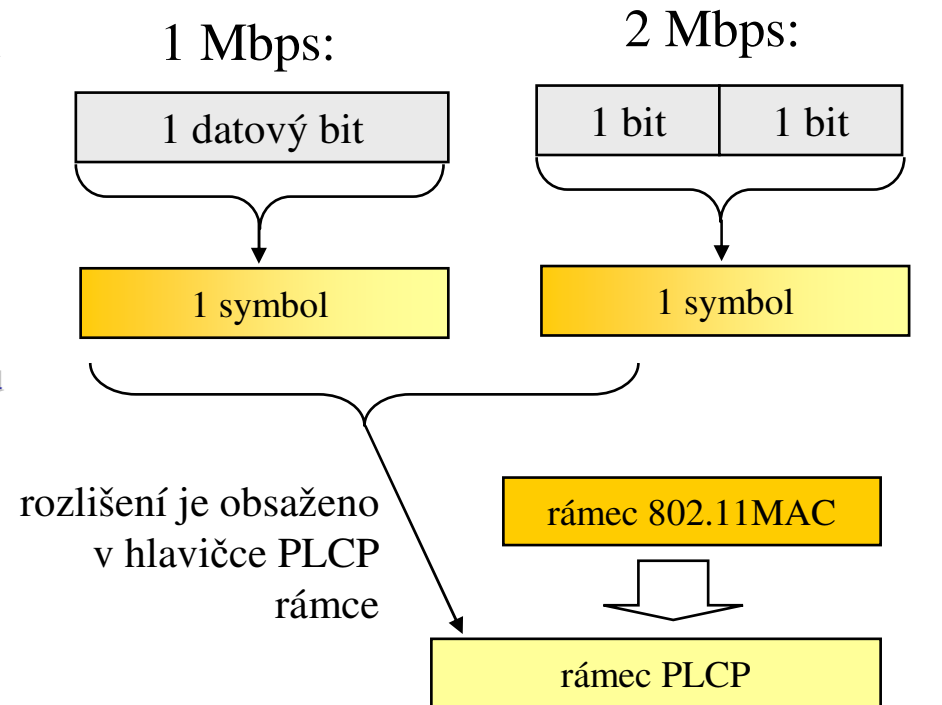
platí pro 4
stavovou
modulaci

střídají se 4 různé symboly



DSSS v IEEE 802.11

- používá 11-bitový pseudonáhodný kód
 - má-li být přenesena 1, vyše se:
 - +1 -1 +1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1 -1
 - má-li být přenesena 0, vyše se:
 - -1 +1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 +1 +1 +1
 - všechny stanice a AP používají stejnou pseudonáhodnou sekvenci
 - stejný chipping kód !!
- podporuje rychlosti:
 - 2 Mbit/s (základní rychlost)
 - 1 Mbit/s (možné zpomalení)
- kódování:
 - při rychlosti 1 Mbit/s:
 - 1 bit je vyjádřen (zakódován) do 1 symbolu
 - je použita 2-stavová fázová modulace
 - výsledkem je "tok" 1 MSymbol/s

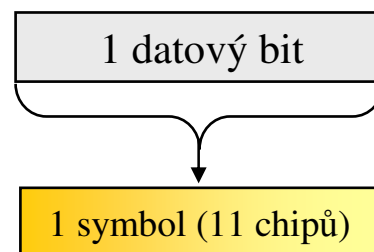


- při rychlosti 2 Mbit/s:
 - do 1 symbolu jsou zakódovány 2 bity
 - je použita 4-stavová modulace
 - výsledný tok symbolů je stejně rychlý: 1 Msymbol/s

DSSS v IEEE 802.11b

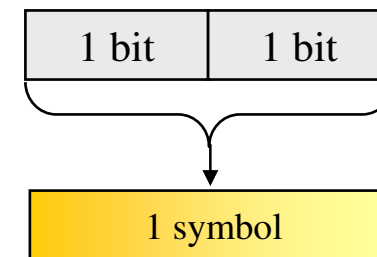
- PHY vrstva IEEE 802.11b (z roku 1999) používá již pouze techniku DSSS !!!
 - je zpětně kompatibilní s DSSS z IEEE 802.11
 - tj. podporuje rychlosti 2 a 1 Mbit/s
 - používá stejné frekvenční pásmo
 - bezlicenční, 2,4 GHz
- přidává navíc rychlosti:
 - 5,5 Mbit/s
 - 11 Mbit/s
- pro nové rychlosti používá:
 - jiný (8-bitový) chipping kód
 - jiné kódování:
 - CCS, Complementary Code Keying
 - pracuje se symbolovou rychlostí 1,375 Msymbolů/s
 - $11/8 = 1,375$

1 Mbps:



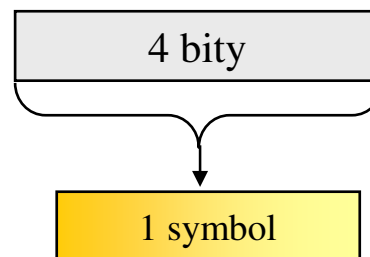
frekvence symbolů: 1 MS/s
datová rychlost: 1 Mbit/s

2 Mbps:



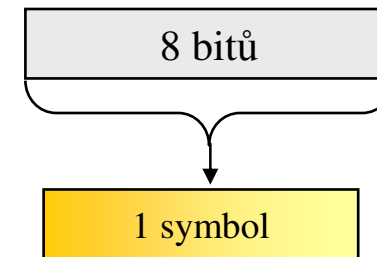
frekvence symbolů: 1 MS/s
datová rychlost: 2 Mbit/s

5,5 Mbps:



frekvence symbolů: 1,375 MS/s
datová rychlost: 5,5 Mbit/s

11 Mbps:



frekvence symbolů: 1,375 MS/s
datová rychlost: 11 Mbit/s

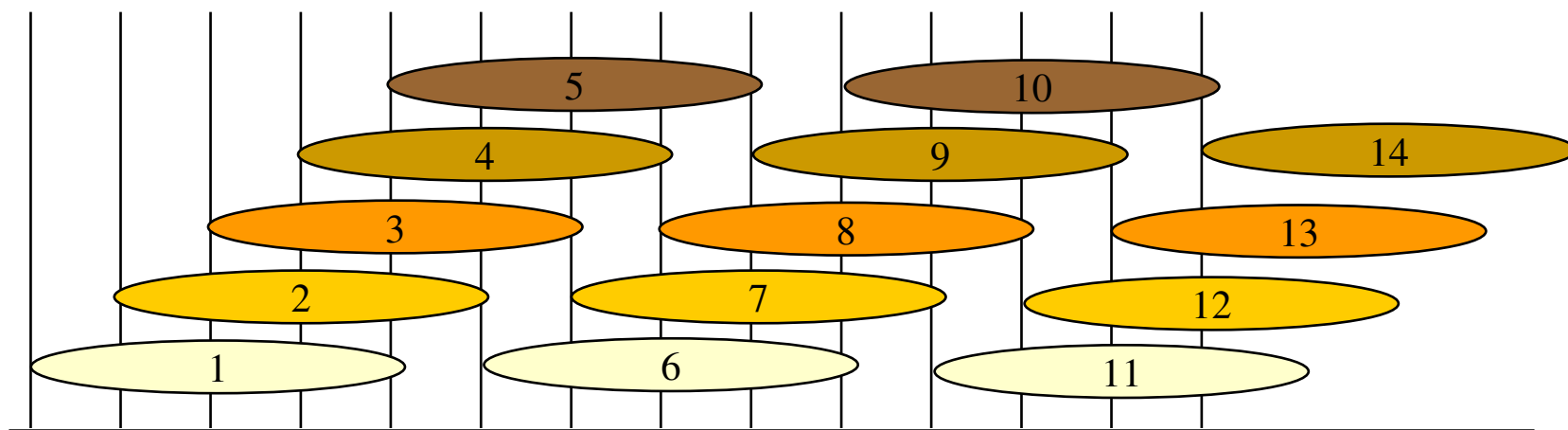
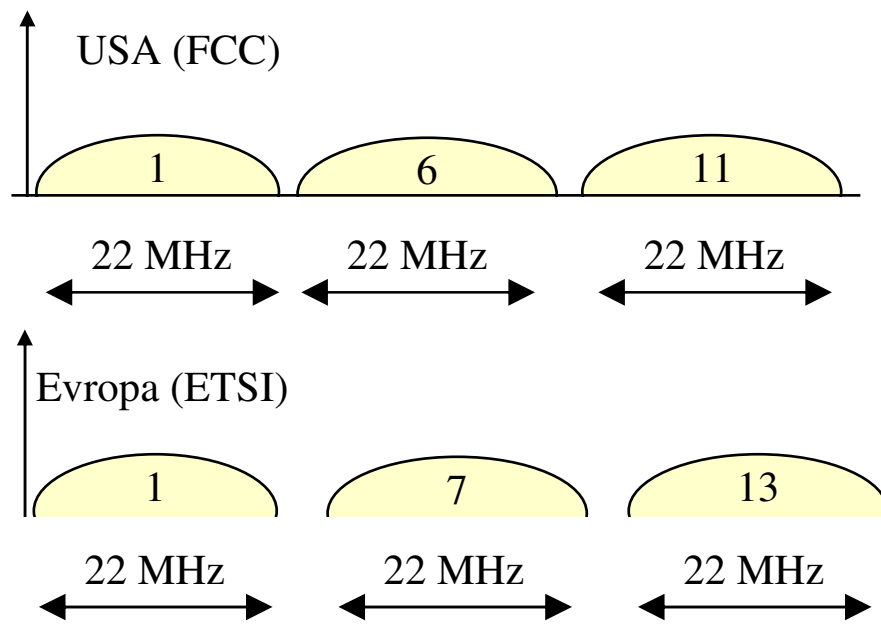
frekvenční pásma pro IEEE 802.11(b)

- DSSS v IEEE 802.11(b) pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz
 - používá frekvenční kanály o šířce 22 MHz
- celkový rozsah bezlicenčního pásma je v různých zemích světa různý
 - USA, Evropa: 2.4000 - 2.4835 GHz
 - celkem 83,5 MHz
 - Japonsko: 2.400 - 2.497 GHz
 - celkem 97 MHz
- dostupné pásmo (Evropa, US) je rozděleno na kanály o šířce 22 MHz
 - s odstupem 5 MHz
 - tj. některé se překrývají !!!

Kanál č.	Rozsah frekvencí	USA	Evropa	Japonsko
1	2401-2423	x	x	x
2	2406-2428	x	x	x
3	2411-2433	x	x	x
4	2416-2438	x	x	x
5	2421-2443	x	x	x
6	2426-2448	x	x	x
7	2431-2453	x	x	x
8	2436-2458	x	x	x
9	2441-2463	x	x	x
10	2446-2468	x	x	x
11	2451-2473	x	x	x
12	2456-2478	-	x	x
13	2461-2483	-	x	x
14	2466-2488	-	-	x

frekvenční pásma pro IEEE 802.11(b)

- v pásmu 2,4 GHz existují jen 3 vzájemně se nepřekrývající pásma
 - v USA: 1, 6 a 11
 - v Evropě: 1, 7 a 13
- umožňují provozovat 3 sítě WLAN "vedle sebe", na různých kanálech
 - aniž by se vzájemně rušily



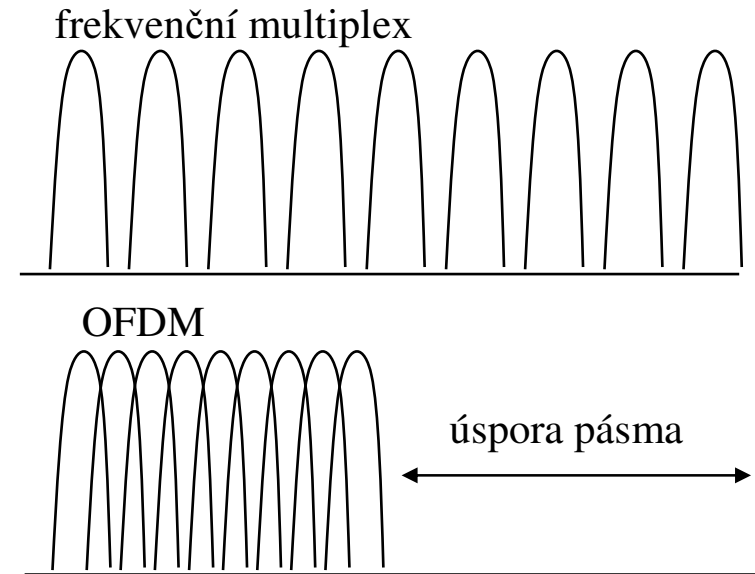


- standard 802.11a předpokládá využití pásma 5 GHz
 - v USA: UNII
 - Unlicensed National Information Infrastructure
 - ve skutečnosti jde o 3 rozsahy:
 - 5,150 – 5,250 GHz / 50 mW
 - 5,250 – 5,350 GHz / 250 mW
 - 5,725 - 5,825 GHz / 1 W
 - v ostatních zemích světa je situace s uvolněním tohoto pásma různorodá
 - v Evropě (ETSI):
 - 2 rozsahy:
 - 5,15 – 5,35 GHz
 - 5,47 – 5,725 GHz
 - 2 dodatečné podmínky:
 - schopnost dynamické volby frekvence
 - » DFS (Dynamic Frequency Selection)
 - schopnost regulovat vysílací výkon
 - » TPC (Transmit Power Control)
- 2005: v ČR regulátor přislíbil uvolnit pásmo 5 GHz, ale dosud tak neučinil
 - čeká na dokončení regulačních procesů v EU
 - až ČTÚ uvolní pásmo 5 GHz, nebude to pro 802.11a !!!!
 - bude možné používat jen zařízení fungující podle standardu 802.11h !!!!
- **802.11h**
 - byl schválen v září 2003
 - vychází z 802.11a
 - přidává navíc právě DFS a TPC

OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- 802.11a používá úplně jinou techniku na úrovni PHY než 802.11
 - techniku OFDM
 - ortogonální frekvenční multiplex
 - dosahuje přenosové rychlosti až 54 Mbit/s
 - nabízí rychlosti: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s
- princip:
 - širší frekvenční pásmo se rozdělí na několik menších (užších) částí
 - desítek až stovek
 - v každém dílčím pásmu je použit samostatný nosný signál
 - jednotlivá dílčí pásma se mohou překrývat
 - "ortogonální multiplex" = maximum jedné nosné se překrývá s minimem sousední nosné



- na každý nosný signál je modulován samostatný datový tok
 - může být relativně pomalý
 - mezi jednotlivé symboly lze dělat odstupy
 - vkládat mezi ně tzv. "ochranný interval" (guard interval)
- datové toky jsou také rozloženy
 - je použito více "pomalejších" datových toků

OFDM v IEEE 802.11a

- pracuje s frekvenčními kanály o šířce 20 MHz
 - každý je rozdělen na 52 dílčích pásem (subcarriers) s vlastním nosným signálem
 - 48 je využito pro přenos dat
 - 4 jsou tzv. pilotní – pro zlepšení detekce
 - odstup je 312,5 kHz
- rychlost přenosu symbolů je pevná:
 - 250 000 symbolů / sekundu
 - každé 4 μsec. 1 symbol
 - délka symbolu je 3,2 μsec.
 - ochranný interval je 0,8 μsec.
- liší se použitá modulace
 - kolik bitů se "vejde" do jednoho symbolu
 - díky tomu se mění i přenosová rychlost
- mezi přenášené bity se vkládají režijní bity
 - pro dopřednou opravu chyb
 - FEC, Forward Error Control

Počet bitů na symbol

Poměr datových bitů k celkovému počtu bitů

Modulace						Výsledná datová rychlost
BPSK	48	1	1:2	24	$24 \times 0,25 = 6$	6 Mbit/s
BPSK	48	1	3:4	36	$36 \times 0,25 = 9$	9 Mbit/s
QPSK	96	2	1:2	48	$48 \times 0,25 = 12$	12 Mbit/s
QPSK	96	2	3:4	72	$72 \times 0,25 = 18$	18 Mbit/s
16-QAM	192	4	1:2	96	$96 \times 0,25 = 24$	24 Mbit/s
16-QAM	192	4	1:3	144	$144 \times 0,25 = 36$	36 Mbit/s
64-QAM	288	6	1:2	192	$192 \times 0,25 = 48$	48 Mbit/s
64-QAM	288	6	1:3	216	$216 \times 0,25 = 54$	54 Mbit/s

Počet bitů na 1 nosnou

Počet datových bitů na symbol

IEEE 802.11g

- v červnu 2003 byl dokončen standard IEEE 802.11g
- "navazuje" na 802.11b
 - pracuje ve stejném bezlicenčním pásmu 2,4 GHz
 - používá stejné frekvenční kanály
 - dokáže koexistovat s 802.11b, je s ním zpětně kompatibilní
- ale nabízí vyšší rychlosti
 - fakticky: velký počet různých rychlostí
 - maximum je 54 Mbit/s
- používá různé techniky přenosu dat:
 - OFDM (jako 802.11a)
 - DSSS (jako 802.11b)
 - PBCC (nová technika)
 - Packet Binary Convolution Coding
 - jedna jediná nosná v celém frekvenčním kanálu, 256 možných stavů
- dosahované rychlosti:
 - technikou PBCC:
 - 22 Mbit/s, 33 Mbit/s
 - technikou OFDM:
 - 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s
 - technikou DSSS (kompatibilita s 802.11b):
 - 1, 2, 5,5 a 11 Mbit/s
- produkty na bázi 802.11g již jsou na trhu
 - a dostupné i v ČR
 - nejsou o mnoho dražší než produkty na bázi 802.11b



ASUS WL-500**b**:
2450,- Kč vč. DPH

ASUS WL-500**g**:
2990,- Kč vč. DPH

Skutečně dosahované rychlosti

- zařízení, fungující dle 802.11... jsou pouze poloduplexní
 - nedokáží přijímat a vysílat současně
- rychlosti, uváděné u jednotlivých verzí standardů a technik modulace, jsou nominální
 - vyjadřují spíše to, jak dlouho trvá přenos jednoho bitu
- skutečně dosahovaná (efektivní) přenosová rychlost je nižší
 - o režii MAC podvrstvy
 - odhad: 30-40 procent režie
 - PLCP podvrstvy
 -
- adaptivita 802.11:
 - nominální rychlosti se průběžně přizpůsobují podmínkám přenosů
 - podmínkám šíření signálu
 - rušení
 - útlum (překážky, ...)
 - dosahu
 - na větší vzdálenosti klesá
 - záleží na:
 - použití venku/uvnitř
 - druhu použitých antén
 - všesměrové, směrové
 - na zisku použitých antén
 - na vysílacím výkonu
 - s horšími podmínkami zařízení samo přechází na nižší (dostupnou) rychlost
- připomenutí:
 - podmínkou generální licence (GL - 12/R/2000) pro využití bezlicenčního pásma 2,4 GHz je max. vysílací výkon (EIRP) 100 mW

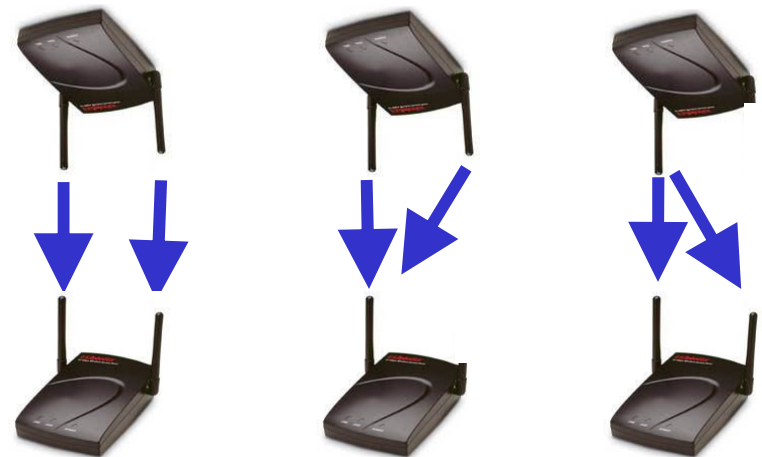
Standard	Max. nominální rychlost	Reálná efektivní rychlost
802.11b	11 Mbit/s	do 6 Mbit/s
802.11g	54 Mbit/s	do 22 Mbit/s
802.11g	54 Mbit/s	do 25 Mbit/s

Další zvyšování rychlosti

- podobně jako u sítí 802.3, je i u 802.11 snaha dále zvyšovat přenosové rychlosti
 - nominální i efektivní
- připravovaný standard 802.11n
 - měl by poskytovat alespoň 100 Mbit/s efektivní přenosové rychlosti
 - je chystán na 2005/2006
 - nedávno odsunut
 - není jasné, zda zůstane v pásmu 2,4 GHz, nebo využije pásmo 5 GHz
 - dosud není ani konsensus o tom, které z možných technických řešení by mělo být vybráno
- již existují proprietární řešení která nabízí vyšší rychlosti
 - ale nejsou standardizována, nerozumí si s produkty jiných výrobců

způsob dosažení vyšších rychlostí:

- princip MIMO
 - Multiple Input, Multiple Output
- eventuelně MISO, SIMO
 - !!! input/output je myšlen vůči "éteru" !!!
 - input = vysílání, output = příjem
- zařízení bude používat více rádiových rozhraní pro paralelní vysílání a příjem



MIMO

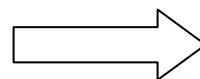
MISO

SIMO

Wi-Fi vs. IEEE 802....



- technické standardy připravuje společnost IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
 - resp. její standardizační skupina 802.11, zaměřená na standardy lokálních sítí
- výrobci produkují zařízení, která by měla dodržovat tyto standardy
 - zda je skutečně dodržují a zda jsou vzájemně kompatibilní, je nutné pečlivě testovat
- testování provádí organizace WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance)
 - ona uděluje označení "**Wi-Fi**", od "**Wireless Fidelity**"
- původní význam označení:
 - **Wi-Fi**: pro zařízení vyhovující standardu 802.11b
 - **Wi-Fi5**: vyhovující 802.11a
 - s tím byl problém – uživatelé si pod tím představovali novější verzi Wi-Fi, kompatibilní s předchozí
 - ale to není pravda, obě verze nejsou vzájemně kompatibilní!!
- v roce 2002 se WECA přejmenovala na **Wi-Fi Alliance**
 - a změnila systém označování kompatibility produktů se standardy



Wi-Fi: certifikované produkty



The screenshot shows the Wi-Fi Alliance website's product listing page. At the top, there is a navigation bar with links for 'About Wi-Fi', 'why Wi-Fi', 'design your Wi-Fi', 'certified product listing', and 'members listing'. Below this, there is a section for filtering products. The 'Filter by Company' dropdown is set to '(Show All)'. The 'Filter Products By' dropdown is also set to '(Show All)'. Under the 'Capabilities' section, several checkboxes are listed, including IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, WMM™, WPA™ - Enterprise, WPA™ - Personal, WPA2™ - Enterprise, WPA2™ - Personal, and All WPA™. A note states: '* Only products meeting all the checked criteria will be displayed.' At the bottom, there is a 'Submit' button. A yellow arrow points from the 'Submit' button towards the certification details on the right.



Wi-Fi® Interoperability Certificate Certification ID: W001969

Wi-Fi CERTIFIED bg

This certificate represents the capabilities and features that have passed the interoperability testing governed by the Wi-Fi Alliance. Detailed descriptions of these features can be found at www.wi-fi.org/certificate

Certification Date: February 17, 2004
Category: Access Point
Company: D-Link Systems
Product: AirPlus G 802.11G /2.4 GHz Wireless Router / DI-524

This product has passed Wi-Fi certification testing for the following standards:

IEEE Standard	Security		
802.11b	WPA™ - Personal		
802.11g	WPA™ - Enterprise		

- výrobci předkládají své produkty k testování interoperability Wi-Fi Alliance
 - pokud vyhoví, Wi-Fi Alliance vystaví konkrétnímu produktu certifikát
- zákazník si může sám zjistit, zda byl takový certifikát udělen
 - <http://www.wi-fi.org/>

Značení Wi-Fi - dnes

- význam "Wi-Fi":
 - "Wi-Fi" je podmnožinou IEEE 802.11...
 - ze všech produktů, které vychází ze standardů IEEE 802.11, mohou být jako "wi-Fi" označeny jen ty, které úspěšně prošly testy kompatibility u Wi-Fi Alliance
 - praxe: Wi-Fi je všechno ...
- princip značení produktů a služeb:
 - začaly se používat nálepky, na kterých se zaškrtnou, jaké schopnosti má produkt/služba (a které prošly testy kompatibility)
 - dnes se používá nejvíce barevné značení
 - SII, Standard Indicator Icon
- značení hotspotů:
 - oficiální logo od Wi-Fi Alliance
 - vlastní loga poskytovatelů

