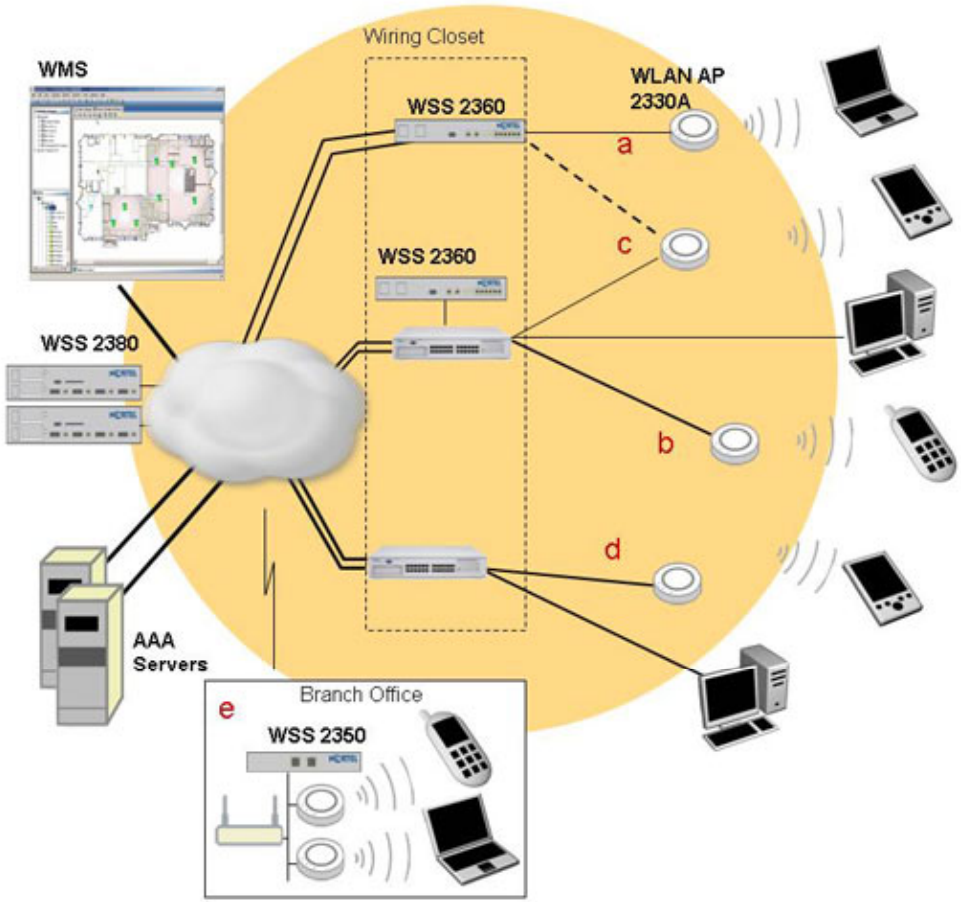


Bezdrátové sítě LAN, WLAN (Wireless LAN), Wi-Fi

O čem přednáška je?

- Charakteristiky WLAN
- Obecné rysy a principy sítí 802.11
  - ✓ PHY, fyzická vrstva
  - ✓ MAC, řízení přístupu
  - ✓ Roaming, řízení výkonu, . . .
- 802.11a, b, g, h, i . . .

Charakteristiky WLAN

- WLAN je jistý typ LAN
  - ✓ omezený dosah v rámci budovy, kampusu, místnosti, …
  - ✓ provozovatelem je obvykle vlastník,
    nikoli nějaký poskytovatel síťových služeb
- hlavní cíl zavedení WLAN
  - ✓ umožnit provoz LAN bez vazby na metalickou kabeláž
  - ✓ provoz LAN = provoz na úrovni datového spoje, tj. vrtva 2 RM OSI
- WLAN je
  jak generický pojem,
  tak i označení konkrétního typu sítí
  - ✓ jako generický pojem pokrývá všechny bezdrátové sítě nižší kategorie
    než MAN a WAN (tj. osobní, domácí sítě, sensorové sítě, . . .)
  - ✓ v užším slova smyslu
    WLAN = bezdrátová LAN institucionálního rozsahu

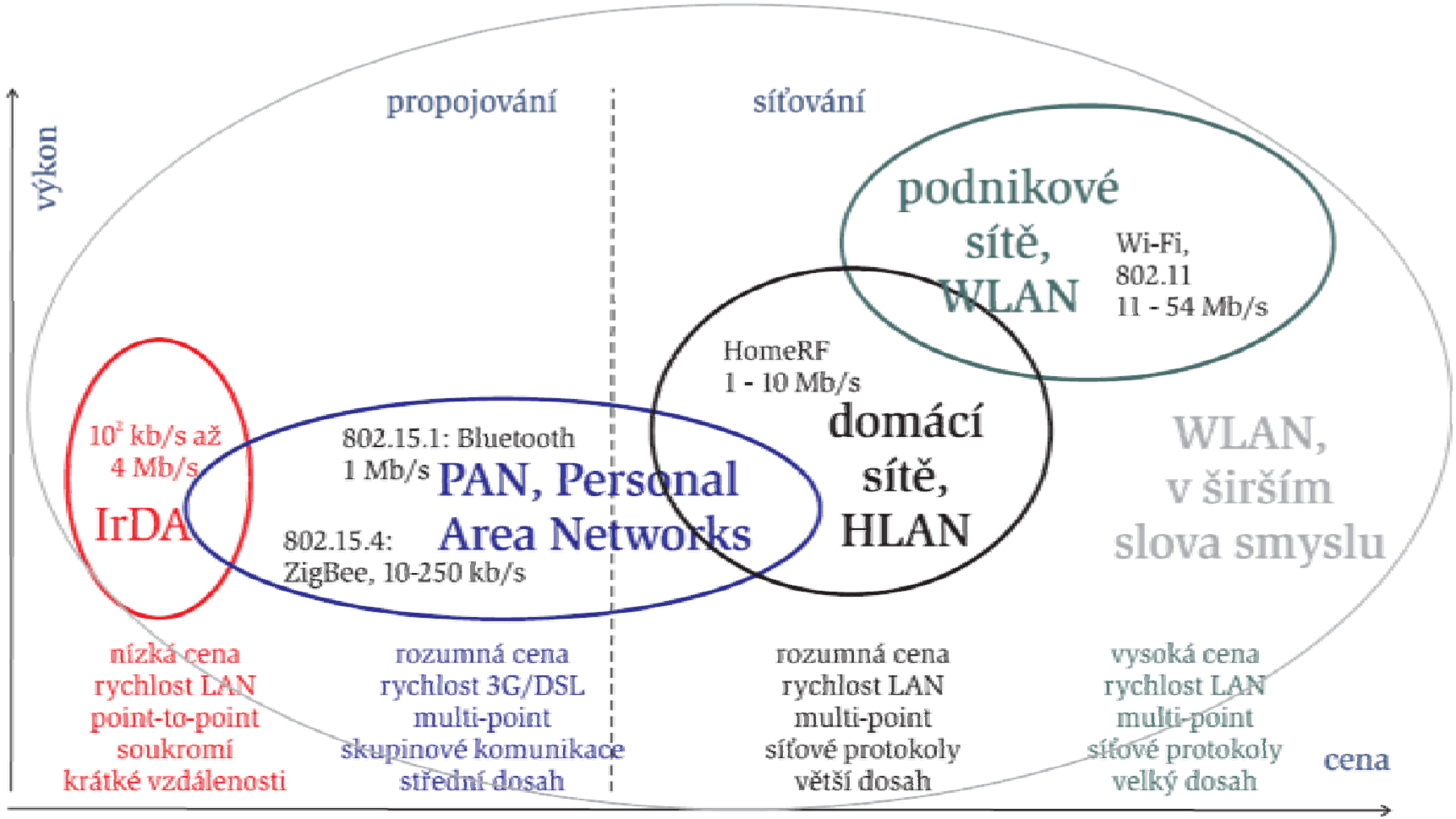
Charakteristiky WLAN, 2

- Výhody
  - ✓ velká pružnost v pokryté oblasti
  - ✓ lze tvořit ad-hoc sítě bez předchozího plánování
  - ✓ vesměs žádné problémy s kabeláží
  - ✓ odolnost při katastrofách, . . .
- Nevýhody
  - ✓ typicky velmi malá šířka pásma při porovnání s metalickými sítěmi (1–10 Mb/s)
  - ✓ mnohá proprietární řešení, zvláště na vyšších rychlostech, standardy se prosazují pomalu (např. IEEE 802.11)
  - ✓ řada výrobků musí dodržovat národní omezení, pokud mají pracovat bezdrátově
  - ✓ globální řešení se prosazuje velmi dlouho

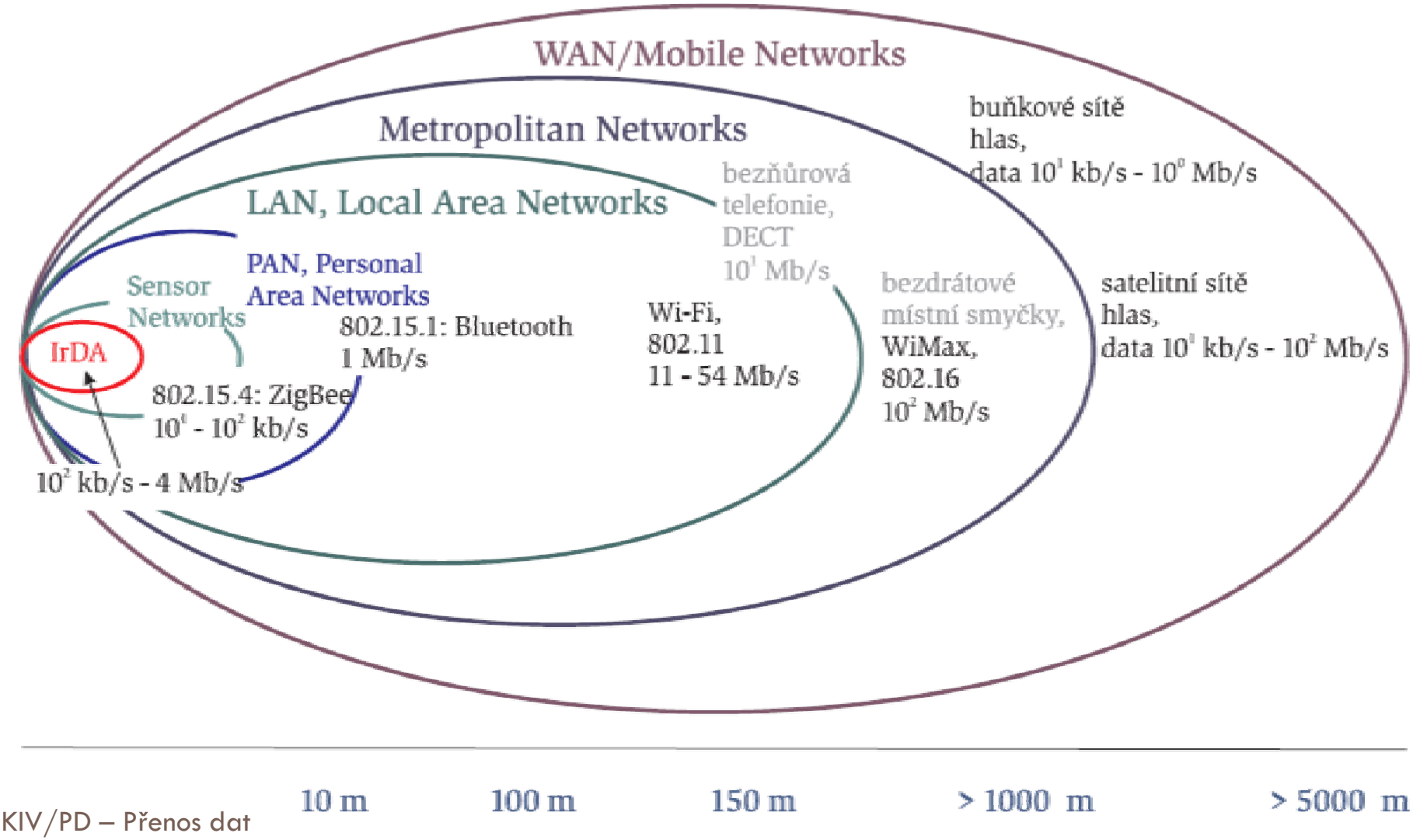
Cíle návrhu WLAN

- globální, bezešvý provoz, automatizace předávek účastníků
- nízký výkon, bateriové napájení
- musí být použitelná bez udělování licencí
- odolná, robustní technologie
- jednoduchá reflexivní kooperace při mítinzích
- snadná použitelnost kýmkoli, snadná správa
- ochrana investic vložených do metalických sítí
- bezpečnost, soukromí, … (nikdo nesmí číst moje data, nikdo nesmí shromažďovat si o mně informace, nízká radiace , …
- transparentnost pro aplikace a všechny vyšší OSI vrstvy než 2, případně i transparentost lokality

WLAN, přehled



WLAN, systematizace



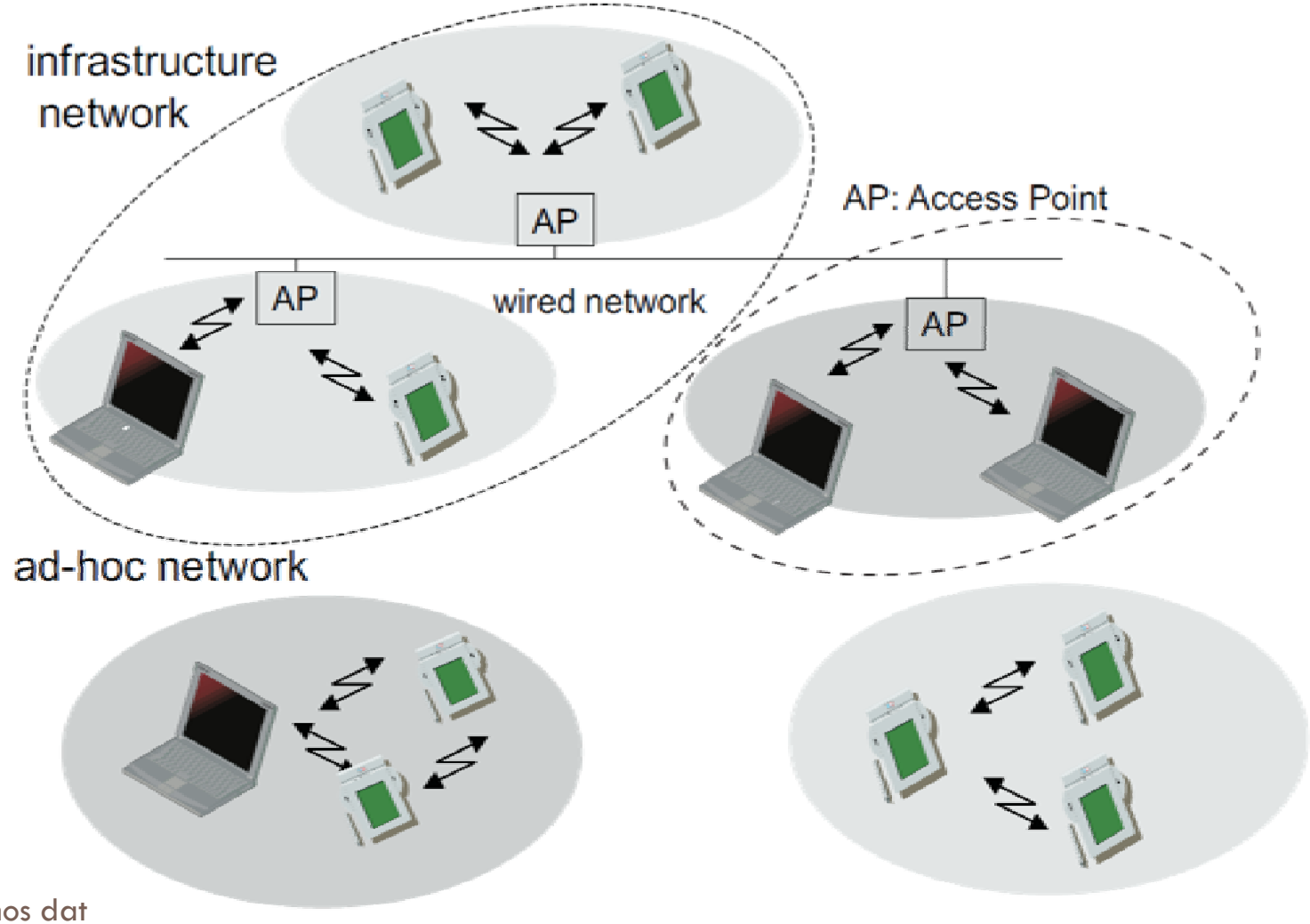
Porovnání přenosových technologií WLAN

rys	Infračervené přenosy (IR)	radiové přenosy (RF)
podstata	používají se IR vlny 900 nm, jak na LOS, tak i difusní světlo a násobné odrazy	používá se volné pásmo frekvencí na 2,4 GHz resp. pásmo 5 GHz apod.
přednosti	jednoduché, levné vysílače a přijímače dostupné v mnoha mobilních zařízeních, žádné licence, lze snadno stínit	lze použít zkušenosti z bezdrátových WAN, lze pokrýt velkou oblast vlnění prochází stěnou, nábytkem, … není nutná LOS
nedostatky	interference se sluncem a se zdroji tepla hodně věcí stíní nebo absorbuje IR, malá šířka pásma, vyšší rychlosti jen při LOS	pásmo volných licencí je malé obtížné stínění, interferencie s jinými el. zařízeními
sféra	WPAN a nižší sítě	WLAN (WPAN)
příklady	jedna z sítí 802.11 – IrDA (Infrared Data Association),	většina sítí 802.11 Bluetooth, HIPERLAN

Infrastrukturní a ad-hoc sítě

- ad-hoc (peer-to-peer) WLAN
  - ✓ skupina počítačů vybavených rozhraními na WLAN
  - ✓ každý počítač může komunikovat s každým počítačem ve skupině
- infrastrukturní WLAN
  - ✓ propojitelnost počítačů v WLAN realizují přístupové body, *access points*
  - ✓ přístupový bod propojuje WLAN s kabelovou LAN
  - ✓ přístupový bod:
    - dedikovaný hardware access points (*HAP*)
    - softwarový AP běžící na standardním počítači
  - ✓ zpřístupnění zdrojů LAN, Interent, . . .

Infrastrukturní a ad-hoc sítě, 2



Pravidla pro uspořádání WLAN, 802.11

- ✓ standard definující ,,bezdrátové síťování" pomocí radiových frekvencí
- ✓ více variant multiplexingu v přenosovém médiu
  Frequency Hopping Spread Spectrum (*FHSS*) a
  Direct Sequence Spread Spectrum (*DSSS*)
- ✓ typický dosah signálu 50–100 m v budově, 300 m venku
- ✓ s 1 AP může vytvářet WLAN 10 – 100 klientů (počítačů)
- ✓ sítě 802.11 lze propojovat
- ✓ Dosah AP 802.11 lze rozšiřovat rozšiřujícími AP
- ✓ klient může mezi překrývajícími se WLAN s propojenými AP přecházet – roaming
- ✓ WLAN může propojit 2 LAN, může poskytnout přístup k Internet

802.11 – rodina standardů WLAN

- 802.11a, WiFi5 – WLAN v pásmu 5 GHz s rychlostí až 54 Mb/s
- 802.11b, WiFi – WLAN v pásmu 2,4 GHz s rychlostí až 11 Mb/s
- 802.11c – mosty v rámci podvrstvy MAC 802.11
- 802.11d – mezinárodní harmonizace
- 802.11e – rozšíření podvrstvy MAC o QoS
- 802.11f – Inter Access Point Protocol (IAPP), roaming
- 802.11g – zvýšení rychlosti WiFi v pásmu 2,4 GHz na 54 Mbps
- 802.11h – změny v 802.11a pro využívání i mimo budovy
- 802.11i – vylepšením autentifikačního a šifrovacího algoritmu
- 802.11j – přizpůsobení japonským podmínkám
- 802.1X – standard zabezpečení

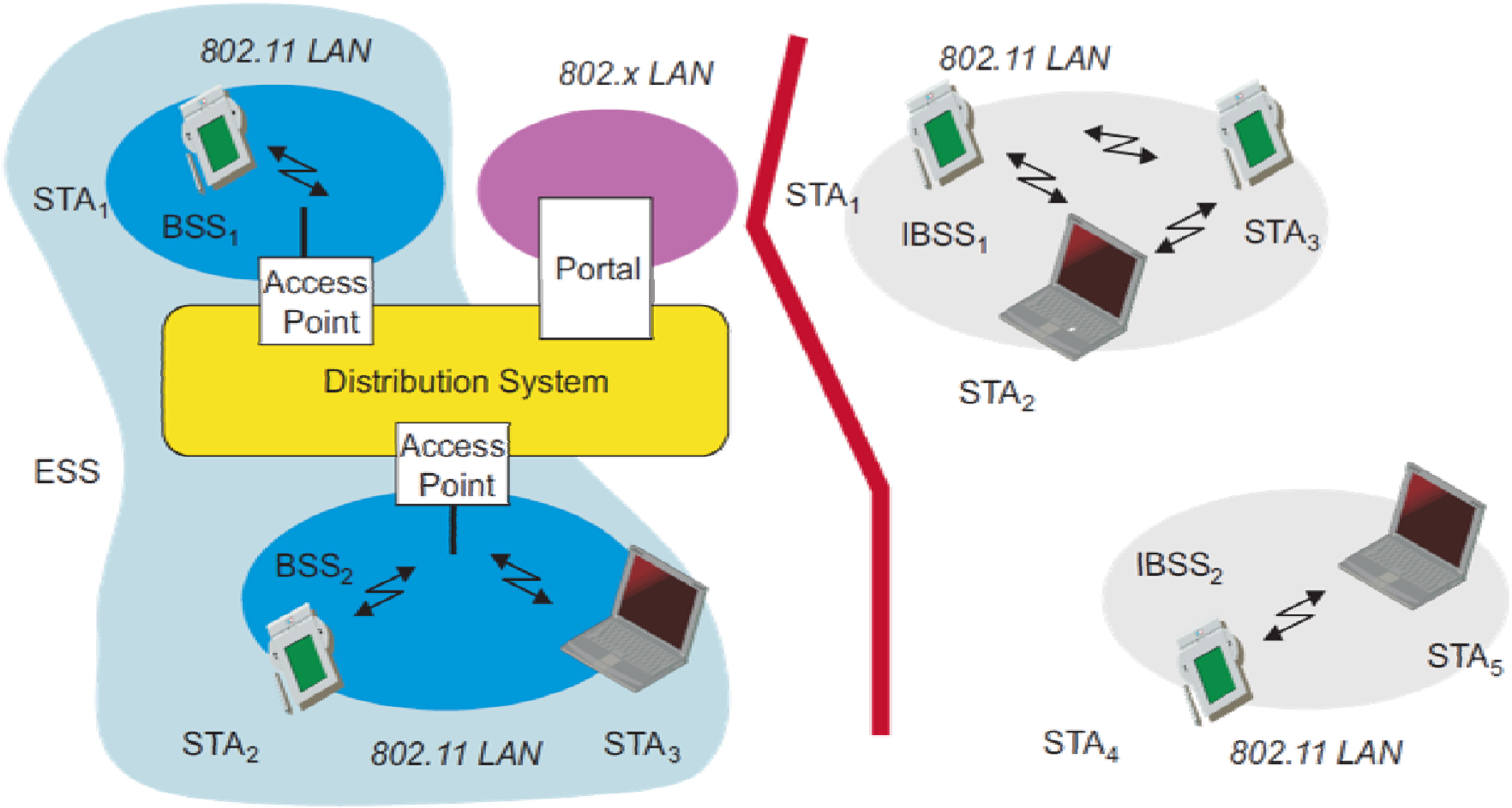
802.11 – architektura infrastrukturní sítě

- ✓ stanice, *Station* (STA), – terminál vybavený přístupovým mechanismem k bezdrátovému médiu a pro radiový kontakt s přístupovým bodem
- ✓ základní oblast, *Basic Service Set* (*BSS*) – nebo více vzájemně komunikujících stanic, stanice v jedné BSS používají stejnou RF
- ✓ 2 nebo více propojených BSS tvoří Distribuční systém , *DS* – propojovací síť vytvářející jednu logickou síť vybudovanáou z více BSS
- ✓ vstup do DS poskytuje přístupový bod, *Access Point* (*AP*) – adresovatelná stanice integrovaná do WLAN a distribučního systému
- ✓ každá BSS je komponentou EES *Extended Service Set*, EES je vytvářená komponentními DS s jejich BSS
- ✓ celá ESS tvoří z hlediska logiky řízení datového spoje, *Logical Link Control layer* (*LLC*), jednotnou síť
- ✓ Portál – most k jiným sítím, např. kabelovým

802.11 – architektura ad-hoc sítě

- ✓ přímá komunikace v omezeném prostoru po omezenou dobu
- ✓ BSS nepropojená s žádnou základnou
- ✓ nazývá se *Independent Basic Service Set* (*IBSS*)
- ✓ má chrakter peer-tp-peer sítě
- ✓ žádná základna nedává pokyn/povolení k vysílání
- ✓ vzniká spontánně

802.11 – architektura sítě



Služby poskytované Distribučním systémem

- Implementaci DS standard 802.11 nedefinuje
- standard 802.11 definuje služby poskytované DS
- *Station Services* (SS)
  - ✓ Authentication
  - ✓ Deauthentication
  - ✓ Privacy
  - ✓ MAC Service Data Unit (MSDU) Delivery.
- *Distribution System Services* (DSS).
  - ✓ Association – mobilita
  - ✓ Reassociation – mobilita
  - ✓ Disassociation – mobilita
  - ✓ Distribution – doručení dat mezi koncovými STA
  - ✓ Integration – výstup AP fungujícího jako portál, integrace do DS

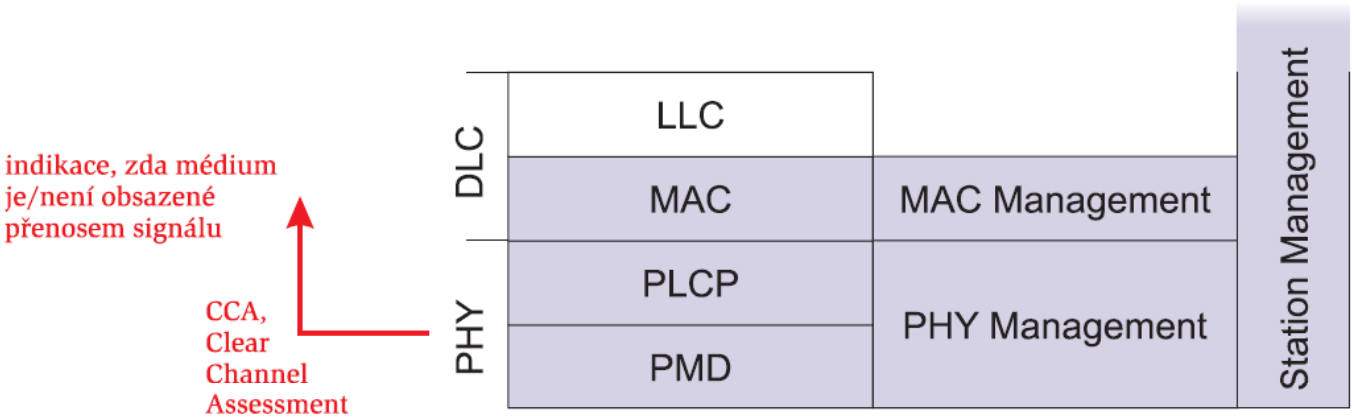
802.11 – Služby DSS

- Association
  - ✓ sdružení STA s BSS (v 1 čase pouze s jednou, takže DS zná lokalitu STA)
- Reassociation
  - ✓ změna AP iniciovaná stanicí
- Disassociation
  - ✓ zrušení sdružení STA s BSS z iniciativy AP, AP končí, disasociovaná STA nemůže ani přijímat, ani vysílat data
- Distribution
  - ✓ Přenos dat ze zdrojové STA přes AP, přenos dat v DS, výstup z AP, příjem dat cílovou STA
  - ✓ pokud je zdroj a cíl v 1 BSS, vstupní a výstupní AP jsou ztotožněné
- Integration
  - ✓ Distribuce s výstupním AP typu portál

802.11 – Služby SS

- Authentication
  - ✓ povinná identifikace STA před asociací do BSS
  - ✓ volná, Open System Authentication, povede se každému
  - ✓ kryptograficky řízená, STA musí znát sdílený tajný klíč protokolu WEP
- Deauthentication
  - ✓ odovolání provedeé autentizace stanicí nebo z AP
- Privacy
  - ✓ volitelné šifrování pomocí *Wired Equivalent Privacy* (WEP)
- MAC Service Data Unit (MSDU) Delivery
  - ✓ komunikace mezi místy poskytování služby na úrovni MAC

802.11 – vrstvy a funkce



- ✓ MAC (*Medium Access Control*)
  přístup k médiu, fragmentace, šifrování
- ✓ MAC Management – synchronizace, roaming,
  MIB (Management Information Base), řízení výkonu
- ✓ PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*)
  detekce nosné frekvence
- ✓ PMD (*Physical Medium Dependent*), modulace, kódování
- ✓ PHY Management – výběr kanálu, MIB
- ✓ Station Management – koordinace všech správních funkcí

802.11 – Physical Layer, původní definice, 1997

- 3 verze – 2x radio (2.4 GHz, FHSS, DSSS) + 1x difusní IR
- techniky rozšiřování šířky pásma snižují hrozbu interferencí a redukují chybovost
- FHSS a DSSS jsou diametrálně odlišné techniky přenosu dat, nemohou kooperovat
- díky používání širší š.p. dává DSSS lepší pokrytí a stabilnější signál
- FHSS je snadněji implementovatelná technologie

802.11 – FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum

- úzkopásmový (š.p. 1 MHz) vysílač/přijímač s centrální frekvencí přeskakující v rozsahu 76 MHz (2,402 GHz – 2,480 GHz, 75 kanálů)
- interference nebo degradace výkonu na konkrétní frekvenci ovlivní pouze malou část přenosu
- vysílač a přijímač si dohodnou jedinečný přeskakovací vzorek, data se vysílají relevantní posloupností kanálů
- pravděpodobnost shody současně používaných vzorků je minimální

802.11 – FHSS, 2

- šířka pásma kanálu 1 MHz omezuje rychlost na 2 Mb/s
- (de)kódování: 1(2) Mb/s – 2(4)-úrovňová GFSK modulace
- rozprostřování: 75 1MHz kanálů v centru ISM pásma 2,44 GHz,
- v rámci BSS se volí 1 ze 3 přeskokových skupin kanálů
  - $\{0, 3, 6, 9, \ldots\}$, $\{1, 4, 7, 10, \ldots\}$, $\{2, 5, 8, 11, \ldots\}$,
  - což umožňuje provozovat v jednom místě více sítí (3 AP)
  - propustnost oblasti 6 Mb/s
- min. 2.5 frekvenčních skoků/s, typický přeskok po 20 ms

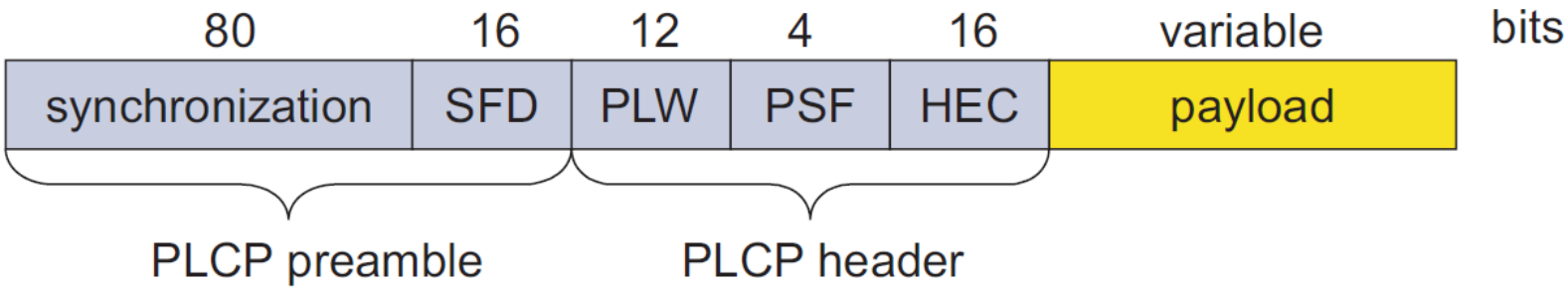
802.11 – DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum

- širokopásmový (š.p. 22 MHz) vysílač/přijímač s rychlostí přenosu 11 Mc/s (c – chip, bit rozprostřovací posloupnosti)
- ISM pásmo na 2,4 GHz se dělí na 14 kanálů
- vysílání – vždy jedním kanálem bez přeskoků mezi kanály
- rozprostřování v kanále – kompenzace šumu v kanále
- rozprostřovací posloupnost:
  +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1 (*Barker code*)
- modulace DBPSK pro 1 Mb/s
  (*Differential Binary Phase Shift Keying*)
- modulace DQPSK pro 2 Mb/s (*Differential Quadrature PSK*)
- preambule a záhlaví rámce se vysílá vždy rychlostí 1 Mb/s
- zbytek přenosu 1 nebo 2 Mb/s

802.11 – Difuse Infrared, DIFR

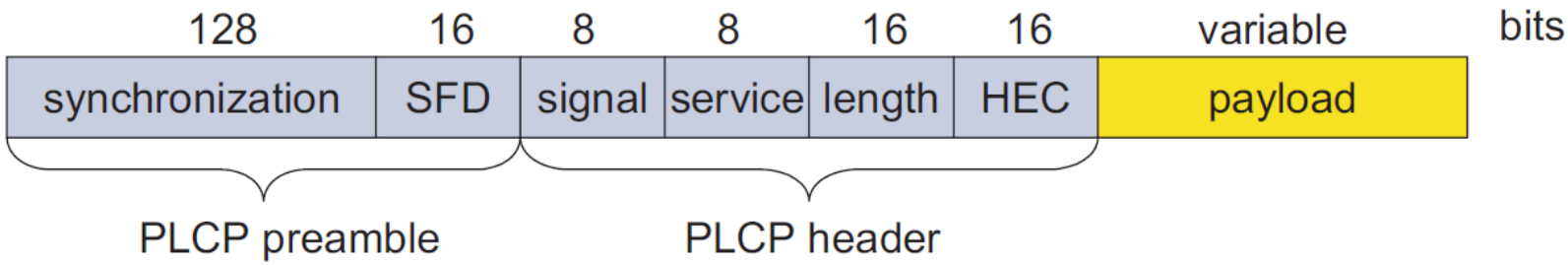
- 850–950 nm,
- difusní světlo,
- pulsy 250 ns,
- typicky 10 m dosah

802.11 – formát rámce PHY při používání FHSS



- synchronizace — vzorek 010101
- SFD (*Start Frame Delimiter*) – 0000110010111101
- PLW (*PLCP PDU Length Word*) –
  délka dat (*payload*) vč. 32 b CRC, $PLW < 4096$
  PLCP – *Physical layer Convergence Protocol*
- PSF (*PLCP Signaling Field*) – data (1 nebo 2 Mb/s)
- HEC (*Header Error Check*) – CRC s $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

802.11 – formát rámce PHY při používání DSSS



- synchronizace — detekce energie, kompenzace posunu fekvence, nastavení zisku, synchornizace
- SFD (*Start Frame Delimiter*) – 1111001110100000
- Signal – rychlost přenosu dat (*payload*) (0A: 1 Mb/s DBPSK; 14: 2 Mb/s DQPSK)
- Length – délka (*payload*)
- Service – rezerva, 00: rámec vyhovující 802.11
- HEC (*Header Error Check*) – ochrana polí *signal*, *service*, *length* pomocí CRC s $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

802.11 – Vrstva datového spoje, DLC, Data Link Control

- Vrstvu datového spoje (ISO RM OSI vrstva 2) tvoří dvě podvrstvy
  - ✓ *Logical Link Control* (LLC)
  - ✓ *Media Access Control* (MAC)
- *Media Access Control* (MAC), Asynchronous Data Service , ADS
  - ✓ povinná služba
  - ✓ výměna rámců na bázi „best-effort" – nespojovaná (datagramová) služba
  - ✓ podpora skupinového a všeobecného rozesílání
- *Media Access Control* (MAC), Time-Bounded Service, TBS
  - ✓ volitelná služba pro přenos hlasu a videa
  - ✓ implementace pouze v infrastrukturní síti pomocí PCF (*Point Coordination Function*)
  - ✓ idea vyzývání (*polling*)

802.11 – Media Access Control, MAC ADS

- základní koncept shodný s klasickou Ethernet, 802.3
- podpora činnosti více uživatelů
  na bázi detekce přenosu v médiu
- 802.3, Ethernet – v MAC používá CSMA/CD
- CD, dektekce kolizí při bezdrátovém přenosu je
  neralizovatelná, stanice neumí současně vysílat i přijímat
- 802.11, WiFi – používá v MAC
  - CSMA/CA, *CSMA with Collision Avoidance* nebo
  - DCF, *Distributed Coordination Function*

802.11 – Media Access Control, MAC ADS

- CSMA/CA
  - ✓ Vysílač před zahájením vysíláním vyčká na klid v etéru
  - ✓ Pak se náhodnou dobu odmlčí
  - ✓ Pak spustí vysílání, pokud je stále v etéru klid
  - ✓ Pokud přijímač přijme neporušený rámec vrátí ACK vysílači
  - ✓ Pokud vysílač nepřijal ACK do daného časového limitu předpokládá kolizi rámců, porušení rámce nebo ztrátu ACK a po náhodné době vysílání zopakuje
  - ✓ Potvrzování proti 802.3 nutně snižuje efektivitu WiFi
- DCF, protokol RTS/CLS, *Request to Send/Clear to Send*
  - ✓ řešení problému skrytých terminálů
    - – 2 staníce v 1 oblasti slyší AP, ale neslyší se vzájemně
    - – CSMA tím pádem nefunguje
  - ✓ stanice vysílá rámec RTS, ten slyší AP a stanice a čeká na povolení vysílat data CLS z AP
  - ✓ Potvrzování RTS/CLS proti CSMA/CA dále snižuje efektivitu WiFi
  - ✓ vhodná technika pro rozsáhlé BSS

802.11 – Media Access Control, MAC TBS

- DCF – řízení se distribuuje všem stanicím
  - ✓ více stanic vyšle RTS,
  - ✓ AP přijme první a pošle všem CLS s indikací vybrané stanice
  - ✓ ostatní stanice se odmlčují po dobu stanovenou v CLS
- TBS, *Point Coordination Function* (PCF)
  - ✓ jeden AP řídí přístup ostatních stanic do média vyzýváním
  - ✓ stanice smí vysílat jen když je vyzvaná
  - ✓ záruka maximálního zpoždění
  - ✓ režim vyzývání se v čase prokládá s režimem CSMA/CA

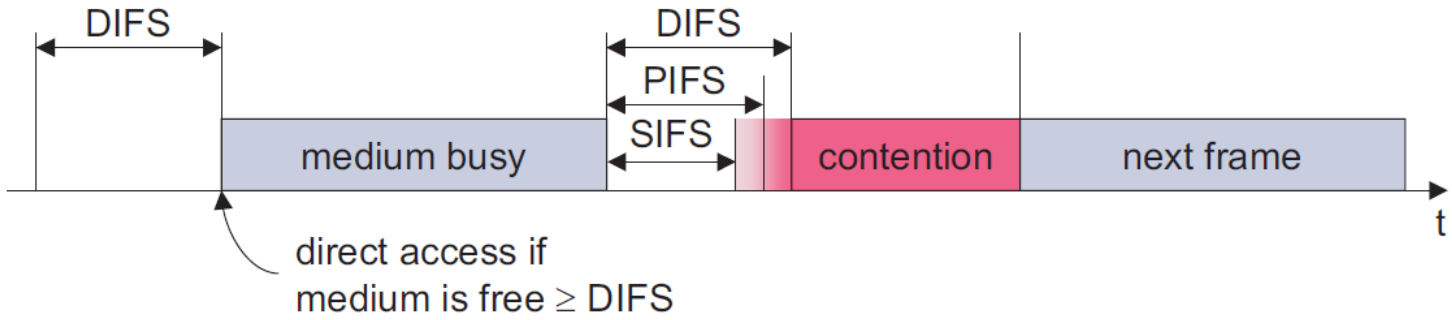
802.11 – Vrstva MAC, metody přístupu, DFWMAC

- obecný název DFWMAC, *Distributed Foundation Wireless MAC*
- DFWMAC-DCF CSMA/CA
  - ✓ DCF, *Distributed Coordination Function*
    CSMA/CA, *Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*
  - ✓ obcházení kolizí náhodným rozptylováním vysílání v čase,
  - ✓ roli hrají minimální vzdálenost mezi následnými rámci,
  - ✓ potvrzování paketem ACK (ne při všeobecném rozesílání)
  - ✓ povinná funkcionalita
- DFWMAC-DCF w/ RTS/CTS
  - ✓ obcházení problému skrytých terminálů
  - ✓ volitelná funkcionalita, ale každá stanice musí umět správně reagovat
- DFWMAC- PCF
  - ✓ přístupový bod vyzývá terminály podle seznamu
  - ✓ volitelná

802.11 – Vrstva MAC, řízení přístupu, princip

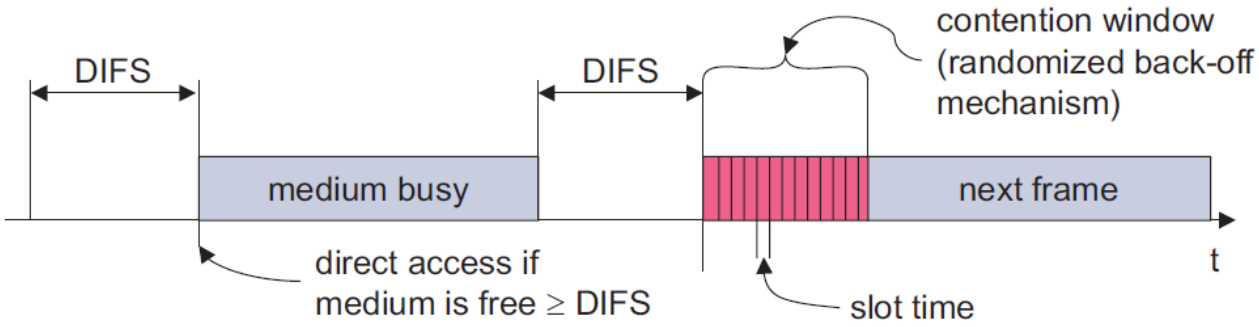
- ✓ bázový princip – řízení délkou doby čekání před pokusem o získání práva přístupu k médiu
- ✓ konkrétní doby čekání různých funkcionalit závisí na typu PHY, jsou definované jako násobky časového dílu
- ✓ časový díl je odvozený z doby šíření signálu médiem, z doby zpoždění vysíláním, . . .
  - – časový díl pro DSSS = 20 μs,
  - – časový díl pro FHSS = 50 μs
- ✓ médium může být *busy* (obsazené), běží v něm přenos rámce, nebo *idle* (volné)
- ✓ stanice se pokouší získat singulární přístup k médiu v době soupeření (*contention*) začínající po uplynutí doby čekání
- ✓ CSMA/CA – Princip přístupu je podobný jako u Ethernetu s CSMA/CD
  - – stanice musí naslouchat, zda je přenosové médium volné.
  - – pro bezdrátové vysílače neexistuje možnost detekovat kolize ve vzduchu ,,křížícími" se vlnami
  - – využívá se proto pro detekci kolizí systém potvrzování.

802.11 – Vrstva MAC, doby čekání



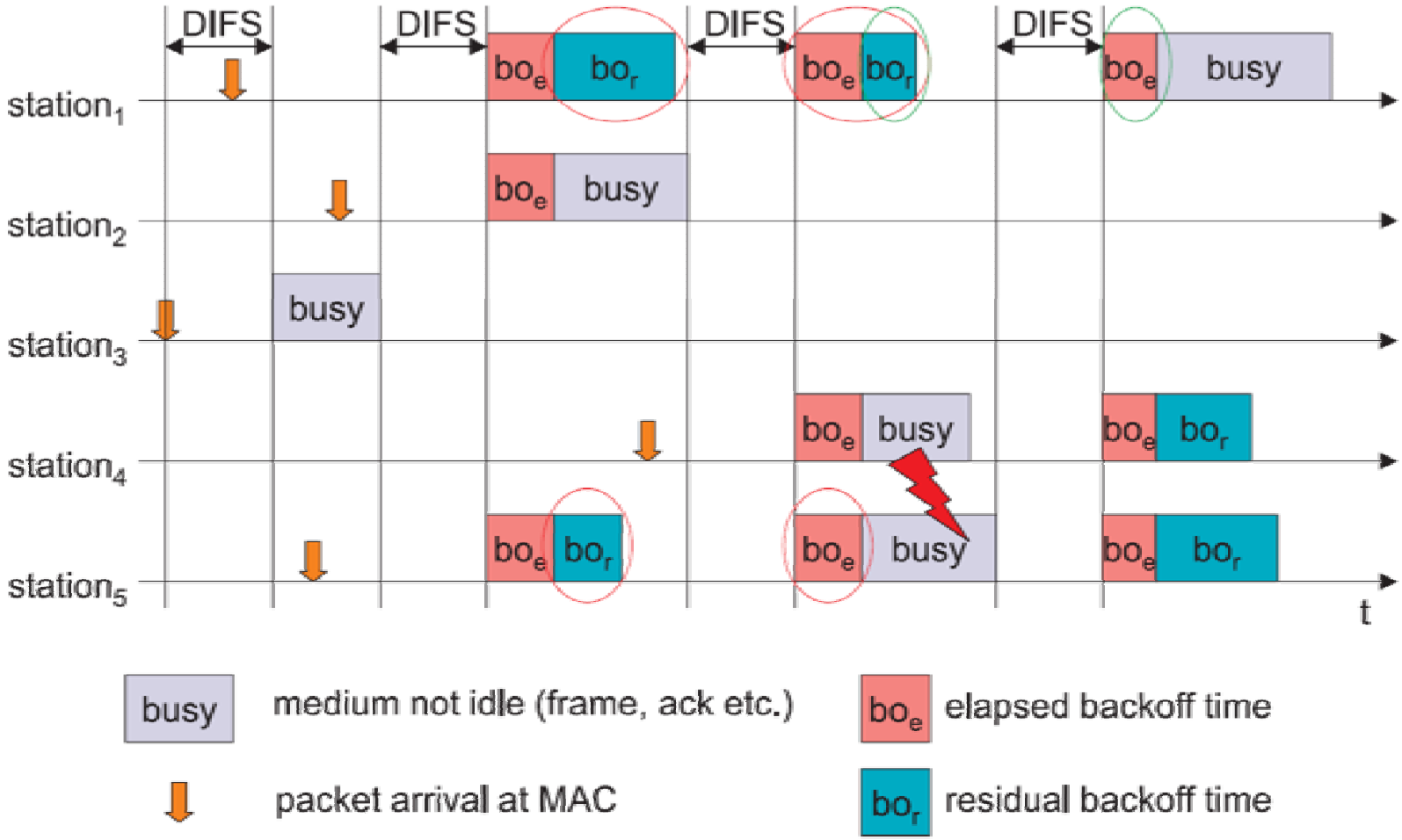
- SIFS (*Short Inter Frame Spacing*), pro řídicí funkce
- PIFS (*PCF IFS*), pro režim vyzývání
- DIFS (*DCF, Distributed Coordination Function IFS*), pro přenos dat
- Priority jsou definované dobami čekání
  - ✓ SIFS – nejvyší priorita, pro krátké řídicí zprávy (potvrzení, výzvy, . . .),
    DSSS = 10 μs, FHSS = 28 μs
  - ✓ PIFS – střední priorita, pro časově vázané funkce PCF,
    = SIFS+1 časový díl
  - ✓ DIFS – nejnižší priorita, pro službu asynchronního přenosu dat
    = SIFS+2 časové díly

802.11 – přístupová metoda CSMA/CA

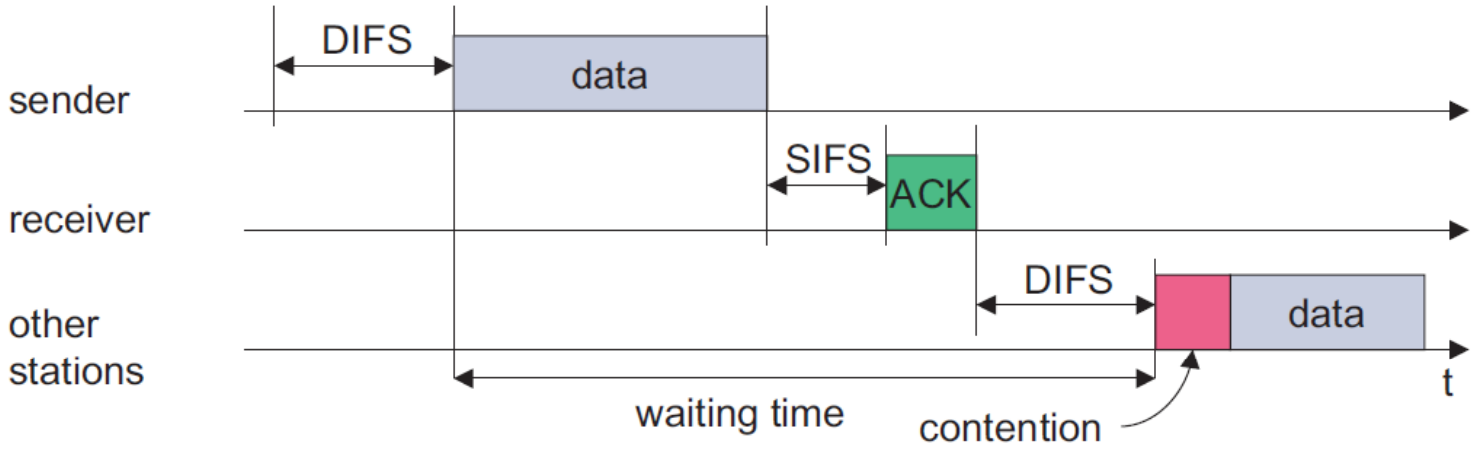


- obcházení kolizí
  - ✓ stanice připravená vysílat spouští testování média – (*Carrier Sense*) podle CCA, *Clear Channel Assessment*)
  - ✓ když zjistí, že kanál je volný po dobu IFS, spustí vysílání (IFS závisí na typu služby)
  - ✓ když zjistí obsazené médium, musí čekat na volnou IFS, čeká odpočítávanou náhodnou dobu (*collision avoidance* – n časových dílů)
  - ✓ jestliže v době čekání na volné médium zabere médium jiná stanice, odpočítávání se zastaví a pokračuje s v něm při příštím soupeření (spravedlivost)

802.11 – soupeření stanic

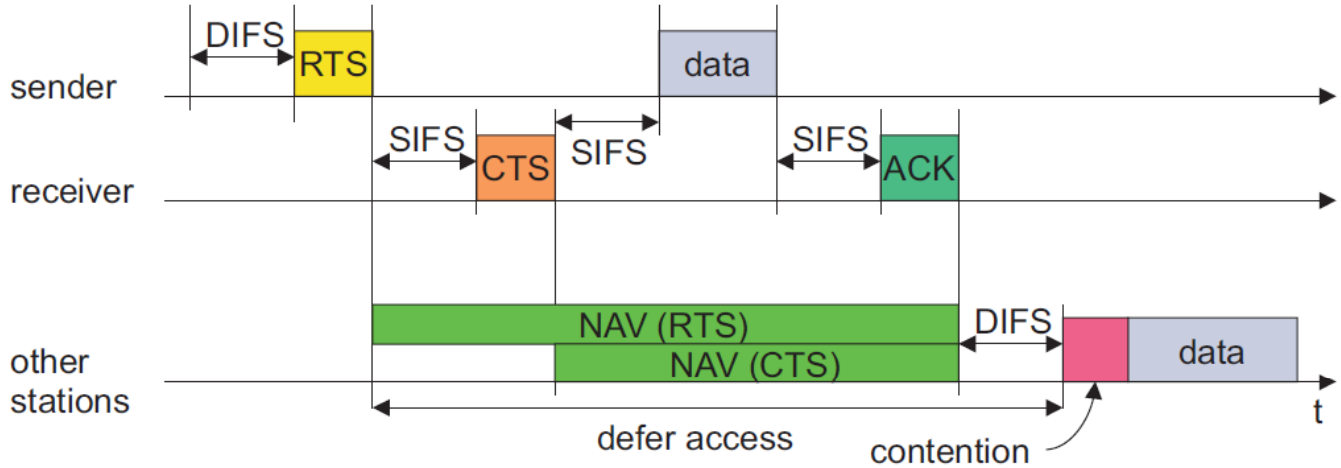


802.11 – přístupová metoda CSMA/CA, 2



- Vyslání rámce jednomu příjemci
  - ✓ stanice musí čekat před zahájením vysílání po dobu DIFS
  - ✓ byl-li rámec přijat správně (CRC), přijímač potvrzuje po vyčkání na SIFS
  - ✓ v případě chyb přenosu se rámce opakovaně vysílají automaticky

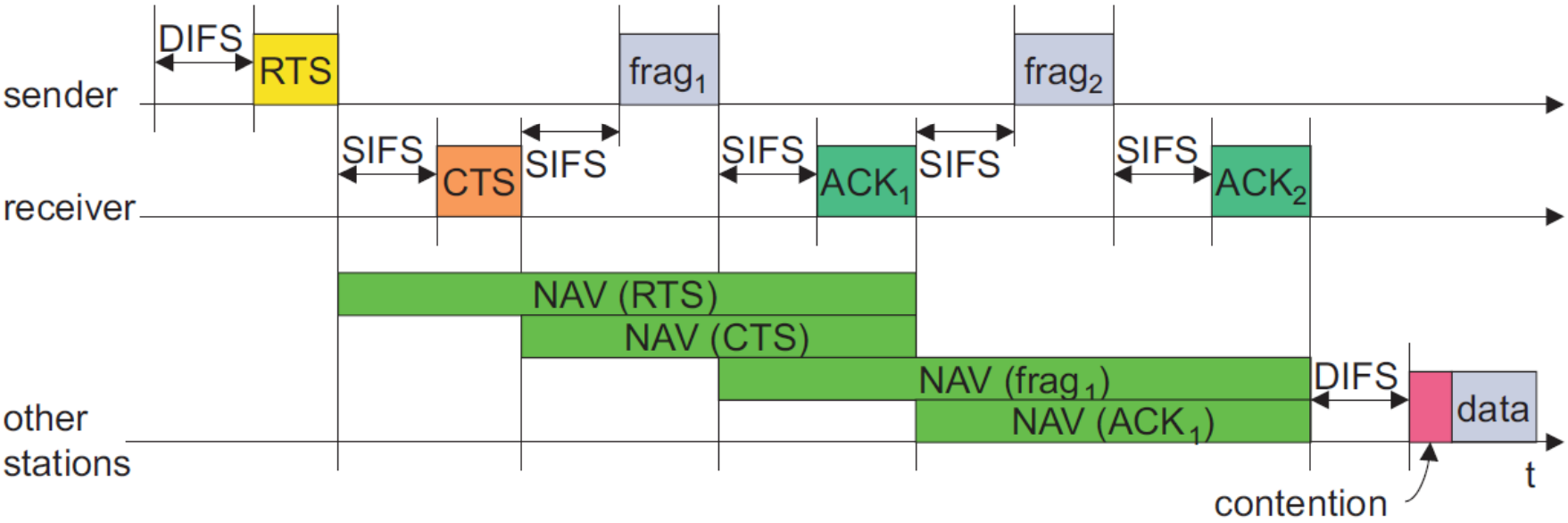
802.11 – přístupová metoda s RTS/CTS



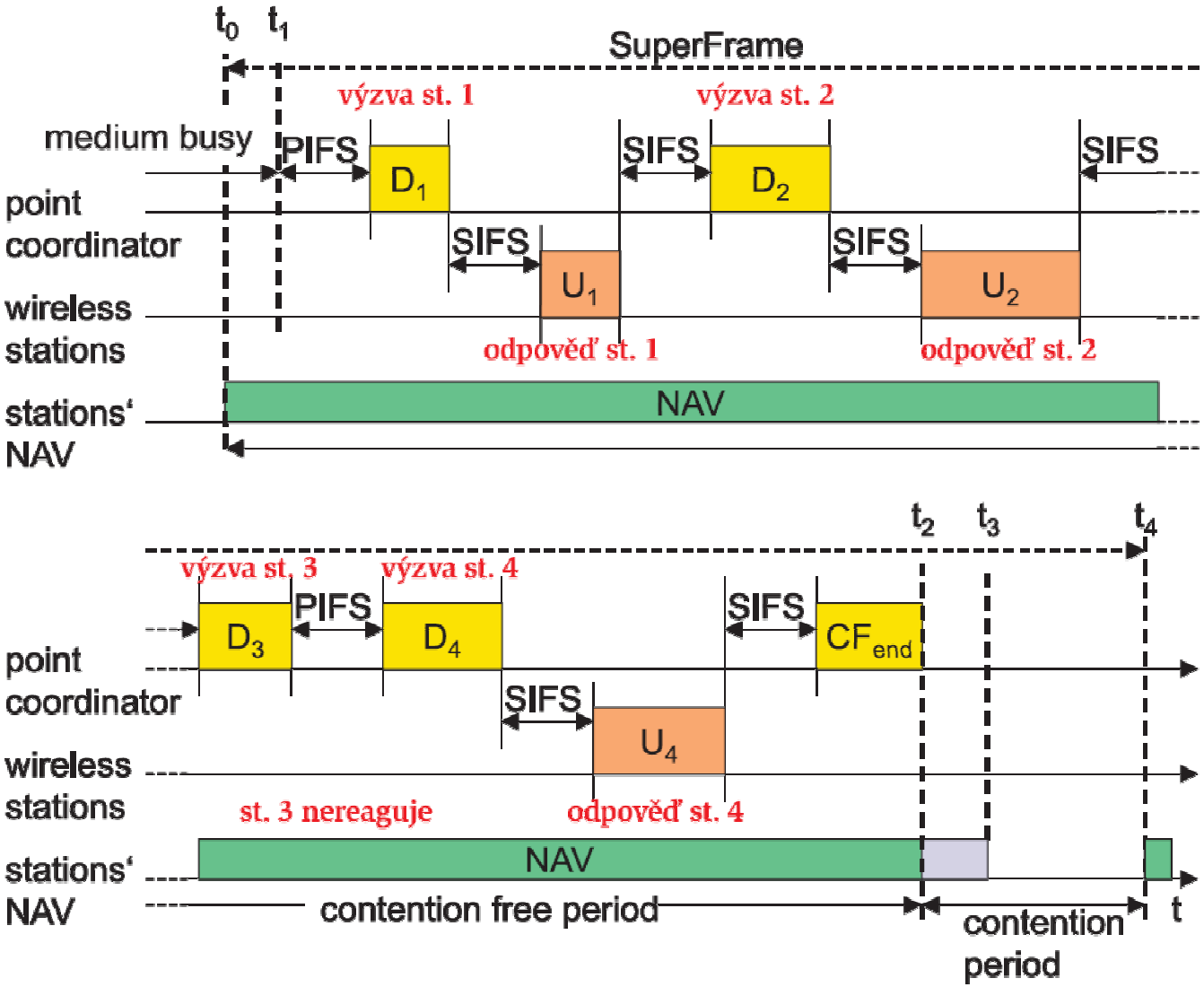
- Vyslání rámce jednomu příjemci
  - ✓ stanice vyšle RTS s udáním příjemce a doby vysílání
  - ✓ přijímač via CTS po SIFS potvrdí že připraven přijímat
  - ✓ vysílač nyní může vyslat data
  - ✓ přijímač vysílá potvrzení via ACK
  - ✓ ostatní stanice si pamatují v NAV (*Net Allocation Vector*) dobu rezervace média sdělenou pomocí RTS a CTS, NAV si stanice nulují po rozpoznání ACK

802.11 – přístupová metoda s RTS/CTS, fragmentace

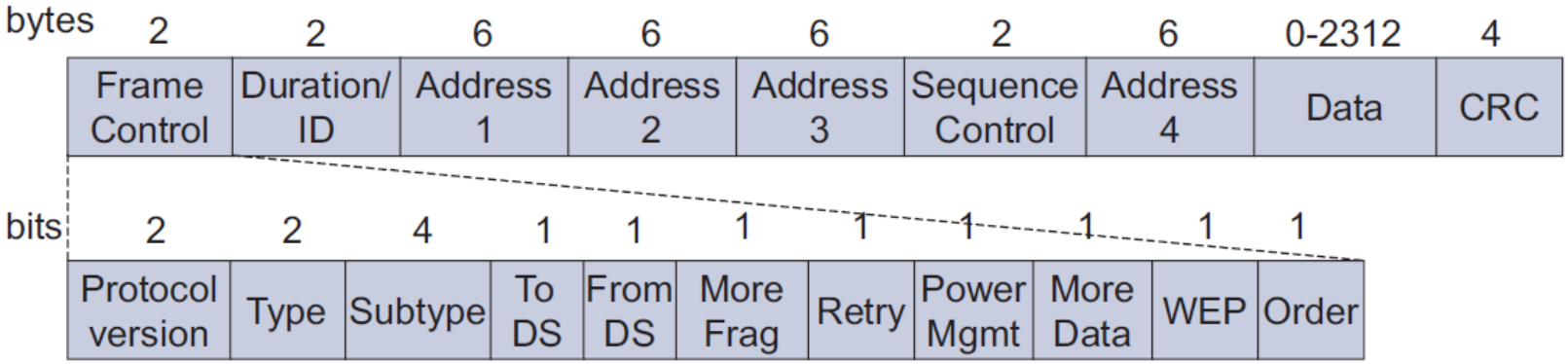
- Vyslání více rámců jednomu příjemci



802.11 – přístupová metoda PCF, vyzývání



802.11 – Formát MAC rámce



- Typy rámců – řídicí, správní, datové
- Pořadová čísla
  - ✓ důležité při zabezpečování proti duplikaci rámců při ztrátě ACK
- Adresy
  - ✓ přijímač, vysílač (fyzický), id BSS, odesílatel (logický)
- Ostatní
  - ✓ doba vysílání, kontrolní součet, řídící pole rámce, data

802.11 – Formáty adres MAC

scénář	k DS	z DS	address 1	address 2	address 3	address 4
ad-hoc síť	0	0	DA	SA	BSSID	-
Infrastrukturová síť, z AP	0	1	DA	BSSID	SA	-
Infrastrukturová síť, k AP	1	0	BSSID	SA	DA	-
Infrastrukturová síť, uvnitř DS	1	1	RA	TA	DA	SA

DS: Distribution System
AP: Access Point
DA: Destination Address
SA: Source Address
BSSID: Basic Service Set Identifier
RA: Receiver Address
TA: Transmitter Address

802.11 – Speciální rámce ACK, RTS, CTS

ACK

slabik	2	2	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	CRC

ACKnowledgment

RTS

slabik	2	2	6	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	Transmitter Address	CRC

Request To Send

CTS

slabik	2	2	6	4
	Frame Control	Duration	Receiver Address	CRC

Clear To Send

802.11 – MAC management

- Synchronizace
  - ✓ pokus nalézt LAN, pokus zůstat v LAN
  - ✓ časovače, . . .
- Správa výkonu
  - ✓ režim spánku beze ztrát zpráv
  - ✓ periodický spánek, vyrovnávací paměti rámců, měření provozu
- Asociace / Reasociace
  - ✓ integrace do LAN,
  - ✓ roaming – např.změna sítě změnou bodu přístupu
  - ✓ scanning – např. aktivní vyhledávání sítě
- MIB - Management Information Base
  - ✓ správa, čtení, zápis

802.11 – Synchronizace v infrastrukturní a ad-hoc síti

- každá stanice si udržuje svoje hodiny
- synchronizaci zajišťuje TSF, *Time Synchronization Function*
- TSF pravidelně vysílá rámce *beacon* (znamení, signál)
  - ✓ údaj o čase
  - ✓ ostatní správní data: pro roaming, řízení výkonu, id BSS, . . .
  - ✓ pravidelně = kvazipravidelně, po uvolnění média
- v infrastrukturní síti vysílá rámce *beacon* AP (*Access Point*)
- v ad-hoc síti vysílá rámce *beacon* každá stanice
  - ✓ při zjištění obsazenosti média po náhodné prodlevě
  - ✓ kolidující rámce *beacon* se ztrácejí
  - ✓ každá stanice nastavuje čas podle přijatého rámce, po čase dojde ke shodě

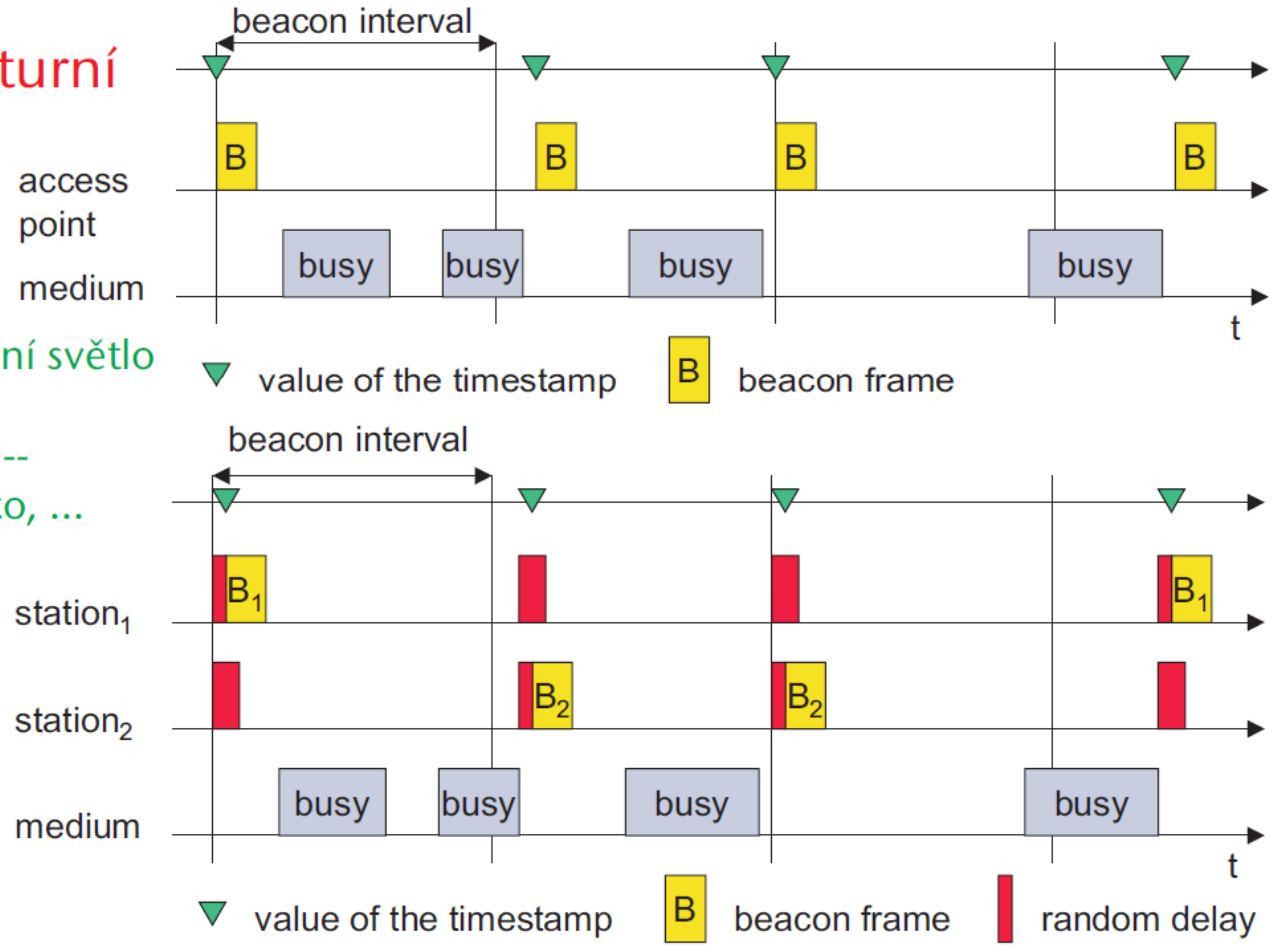
802.11 – Synchronizace v infrastrukturní a ad-hoc síti, 2

Infrastrukturní síť

beacon -- maják, výstražní světlo

beacon frame -- časové razítko, ...

ad-hoc síť



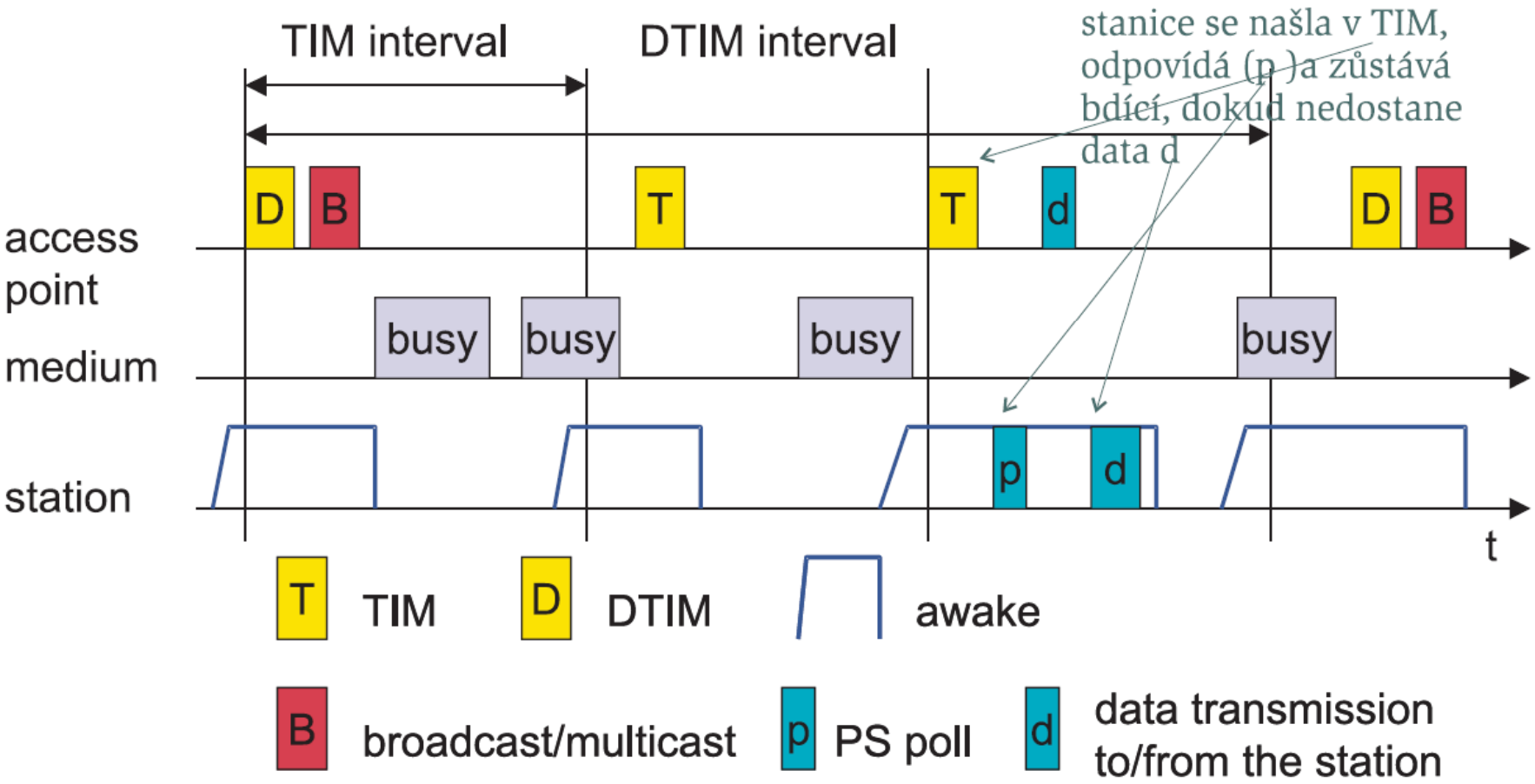
802.11 – Správa výkonu

- Idea – vypínat transceiver pokud není potřeba
- stavy stanice: *sleep* a *awake* – spící a bdící
- vysílající stanice si musí pamatovat rámce určené spícím stanicím
- po vzbuzení spících stanic oznamují pro koho mají připravené rámce
- vzbuzená stanice musí zůstat bdící, dokud rámec nepřijme
- v důsledku používání *Timing Synchronization Function* (*TSF*) se stanice budí současně

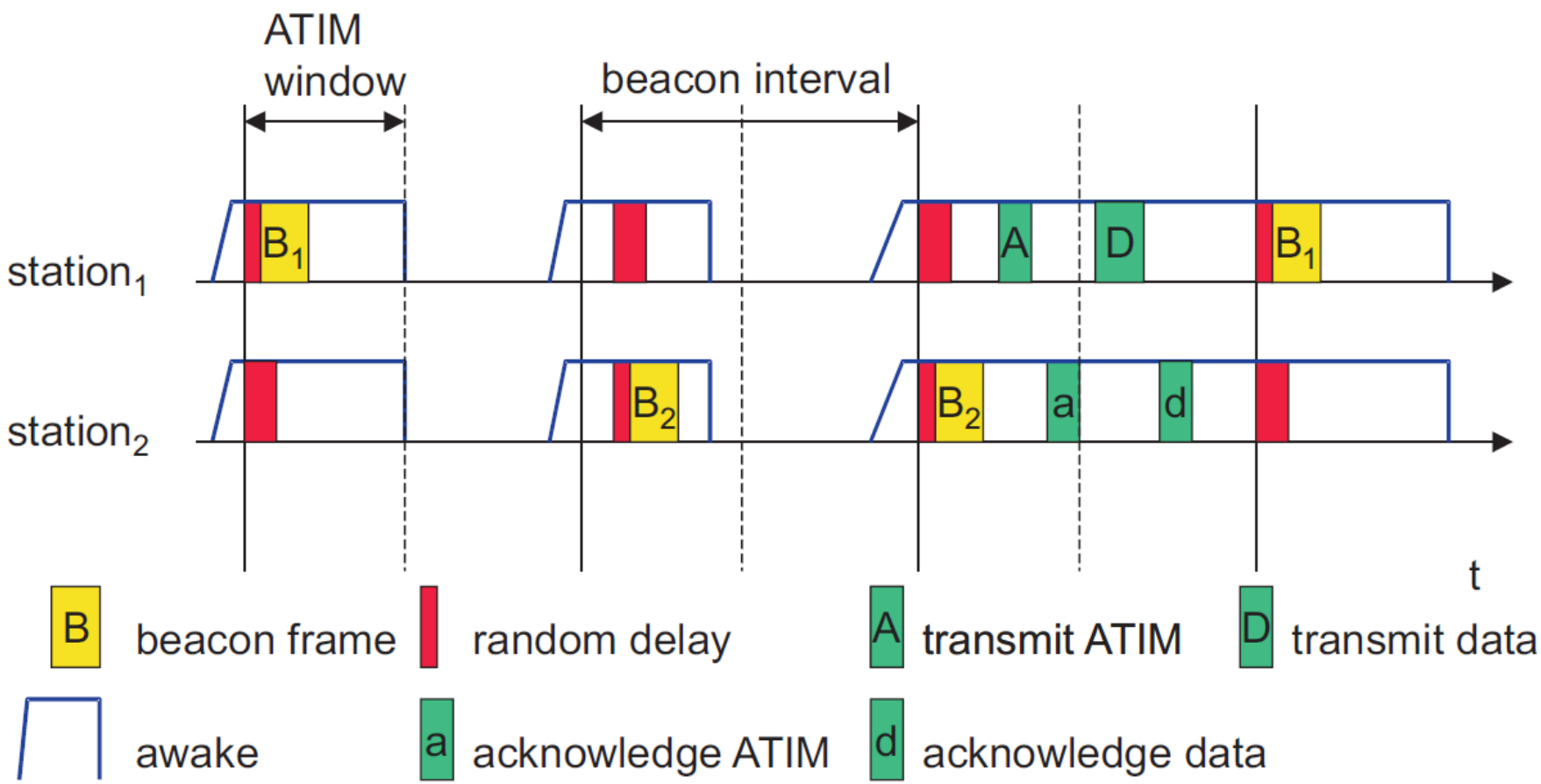
802.11 – Správa výkonu, 2

- Infrastrukturní síť
  - ✓ rámce pro spící stanice „bufferuje" AP
  - ✓ při vyslání rámce *beacon* vysílá rovněž – *Traffic Indication Map* (TIM) – seznam individuálních přijímačů rozesílaný z AP
  - ✓ jednou za čas vysílá i *Delivery Traffic Indication Map* (DTIM) – seznam skupinových/všeobecných přijímačů rozesílaný z AP
  - ✓ spící stanice musí být před vysíláním TIM/DTIM bdící
- Ad-hoc síť
  - ✓ poněkdu složitější – není centrální AP
  - ✓ stanice vysílá *Ad-hoc Traffic Indication Map* (*ATIM*) oznámení přijímačů je-li stanicí s bufferovanými rámci

802.11 – Šetření výkonu s budícími vzorky, infrastrukturní síť



802.11 – Šetření výkonu s budícími vzorky, ad-hoc síť



802.11 – registrace a předávání

- rámce *beacon* identifikují AP, síť apod.
- pro doručení rámce stanici musí distribuční systém vědět, který AP stanici obsluhuje
- registrace stanice u AP – association
  - ✓ stanice může vysílat/přijímat pakety pouze po registraci u AP
  - ✓ standard nespecifikuje jak distribuční systém udržuje informace o registracích
- typy mobility v 802.11
  - ✓ *statická stanice*, pevná nebo nevybočující z oblasti pokryté AP (*BSA*, *Basic Set Area*)
  - ✓ mobilita mezi BSS v rámci ESS
  - ✓ mobilita mezi BSS v mezi ESS, vč. přechodu např. via IP vrstvu

802.11 - reassociation

- Není nebo je špatné spojení ? Pokud ano, pak se provede:
- Scanning, vyhledávání
  - ✓ prohlížení prostředí, např. vyhledávání majákových (beacon) signálů v médiu nebo vysílání sond do média a čekání na odpověď
- Reassociation Request
  - ✓ stanice pošle požadavek na jeden nebo více AP
- Reassociation Response
  - ✓ úspěch – AP odpověděl, stanice může participovat
  - ✓ neúspěch – pokračuje vyhledávání
- AP akceptuje Reassociation Request
  - ✓ signalizace nové stanice do distribučního systému
  - ✓ distribuční systém koriguje svoji databázi (např. informace o lokalitě)
  - ✓ nový AP obvykle informuje starý AP, aby ten mohl uvolnit rezervované zdroje

IEEE 802.11b, charakteristiky

- cíl – dosažení ve WiFi stejné propustnosti, výkonu, dostupnosti jako v klasické Ethernet
- vylepšení pouze na úrovni fyzické vrstvy
- rychlost přenosu dat – 1, 2, 5.5, 11 Mb/s, v závislosti na SNR
- používané frekvenční pásmo: volné pásmo 2.4 GHz ISM-band, 2 400 – 2483,5 MHz
- vysílací dosah – standard 300 m venku, 30 m v budově, v příhodných podmínkách v infrastrukturní sítí se směrovou anténou bez porušování licence ČTÚ až 10km
- maximální rychlost přenosu dat jen do vzdálenosti 10 m v budově

IEEE 802.11b, charakteristiky, 2

- rychlost čipu a šířka pásma je shodná s IEEE 802.11,
  rychlost přenosu dat se zvyšuje na 11 Mb/s
- používá se pouze technika DSSS
- použitá technologie
  místo rozprostřování 11 bitovou Barkerovou sekvencí – modulace CCK – *Complementary Code Keying*

  ✓ vstupní proud 11 Mb/s se dělí po 64 8-b symbolech na 256 bitové bloky,

  ✓ tj. na tok s rychlostí 1,375 M ,,8-b symbolů"/s

  ✓ každý ,,8-b symbol" se překóduje na 8 vzájemně ortogonálních kódů

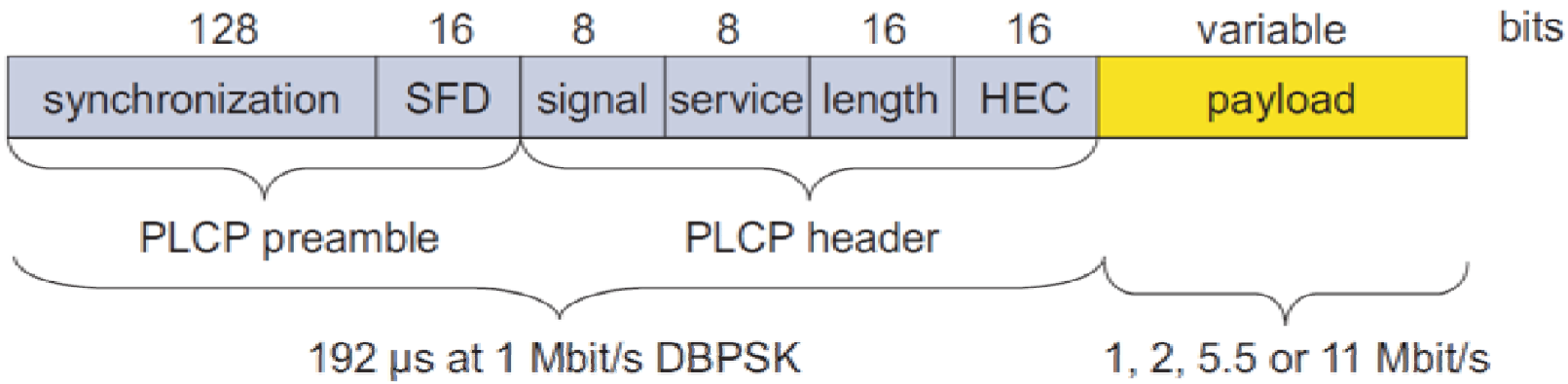
  ✓ kódy se vysílají souběžně, přijímač souběžně přijímá signál s 8 kódy,
  – dekóduje jej na ,,8-b symboly"
  – a ty demultiplexuje je na 11 Mb/s proud dat

IEEE 802.11b, charakteristiky, 3

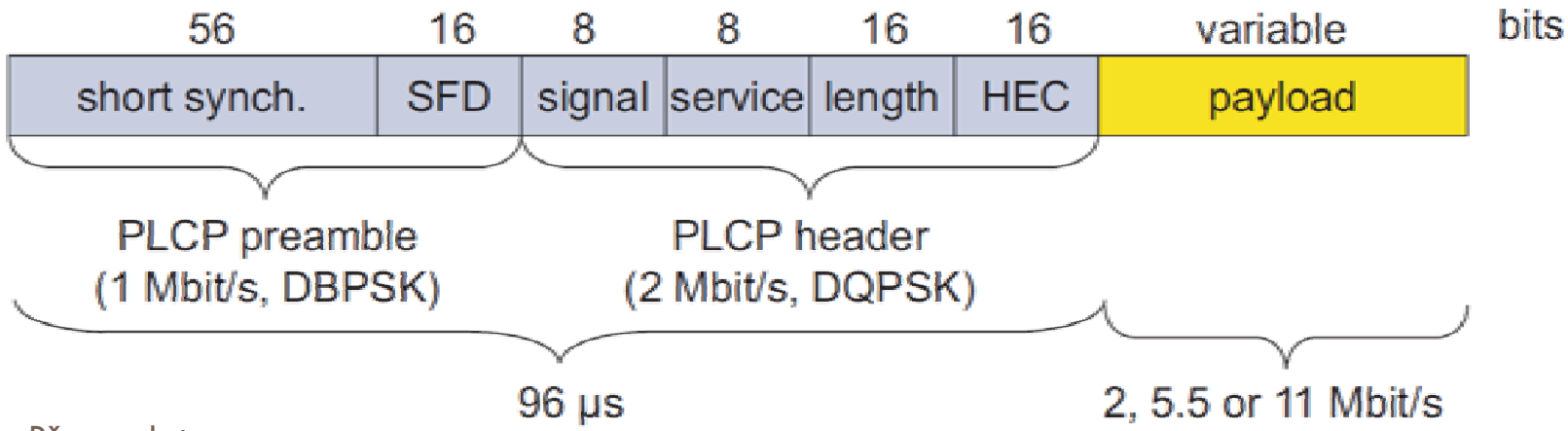
- při rychlosti 5,5 Mb/s se jednou nosnou frekvencí přenášejí čtveřice
- při rychlosti 11 Mb/s se jednou nosnou frekvencí přenášejí osmice
- vždy se používá QPSK modulace a signál 1,375 M ,,8-b symbolů"/s
- nedostatek – ve stejném frekvenčním pásmu operuje Bluetooth, bezšňůrová telefonie, . . .

IEEE 802.11b – formáty rámce PHY

Long PLCP PPDU format



Short PLCP PPDU format (optional)



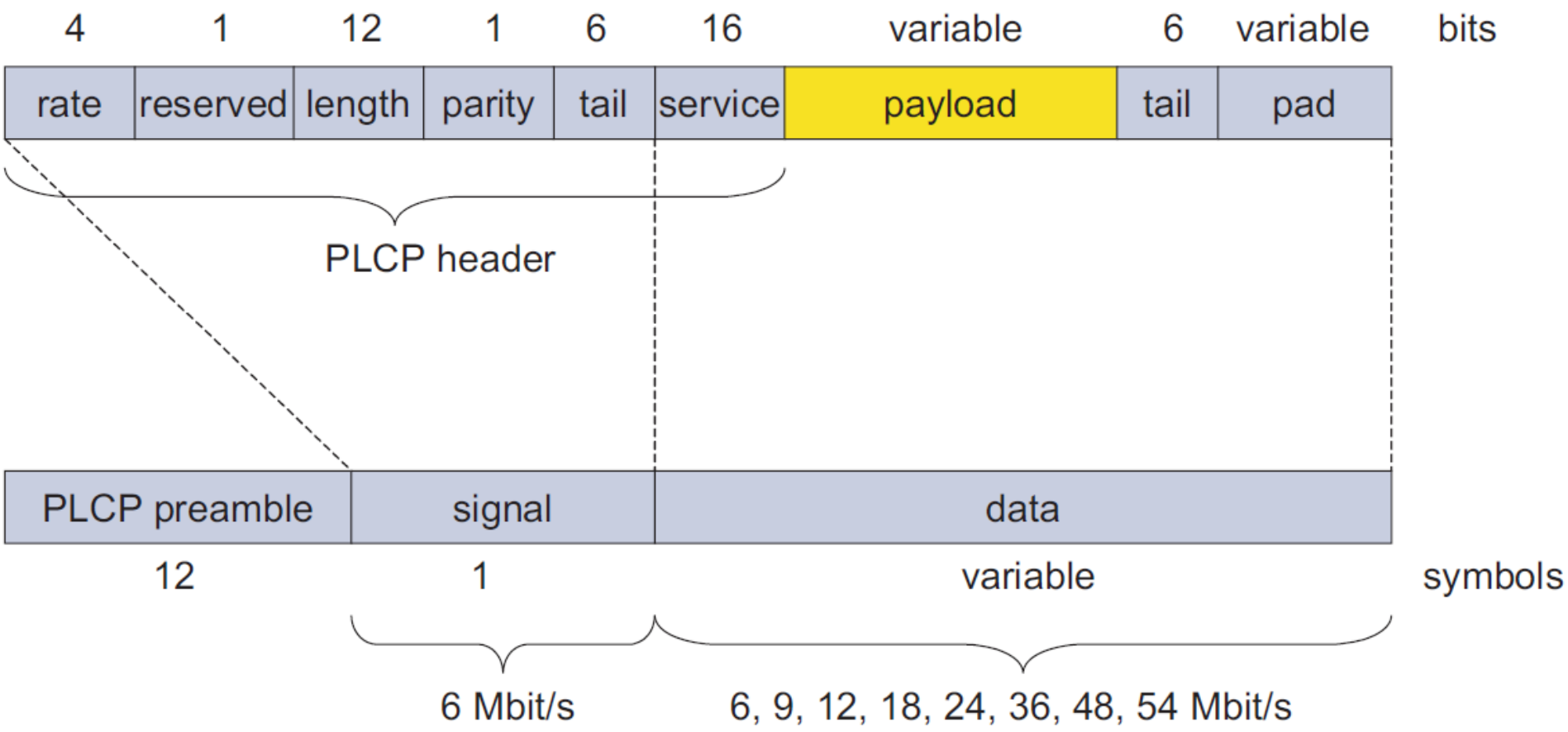
IEEE 802.11a, charakteristiky

- zvyšuje se rychlost přenosu dat proti 802.11b
- frekvenční pásmo: 5 GHz, v ISM-band
- rychlosti přenosu dat –
  6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s, podle SNR
- rychlosti 6, 12, 24 Mb/s povinné
- vysílací dosah – 100 m venku, 10 m v budově např.
  54 Mb/s do 5 m,
  48 Mb/s do 12 m,
  36 Mb/s do 25 m,
  24 Mb/s do 30 m,
  18 Mb/s do 40 m,
  12 Mb/s do 60 m
- multiplexing OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
  modulace BPSK, QPSK až 16-QAM podle cílové rychlosti

IEEE 802.11a, princip OFDM

- Striktně vzato nejde o techniku "rozprostřeného spektra", protože nosný signál zde nemění svou frekvenční polohu,
- přenos se "rozprostírá" do větší části spektra, s cílem dosáhnout co nejvyšší celkové přenosové rychlosti
- část frekvenčního spektra, která je k dispozici se rozděluje na menší části (sub-kanály),
- sub-kanály přenáší samostatné nosné signály (sub-nosné).
- Na každý (sub) nosný signál pak mohou být samostatně namodulována konkrétní data
- celková data, určená k přenosu, jsou průběžně rozkládána do jednotlivých dílčích přenosových kanálů

IEEE 802.11a – formáty rámce PHY



IEEE 802.11g, charakteristiky

- frekvenční pásmo: 2,4 GHz, v ISM-band
- multiplexing/modulace
  - CCK shodně s 802.11b, do 11 Mb/s
  - OFDM shodně s 802.11a, ale v pásmu 2,4 GHz, do 54 Mb/s
- kompatibilní s 802.11b
- negativum – operování v hodně využívaném pásmu 2,4 GHz