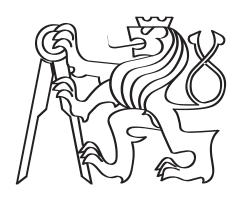
Zkouška BTSA



Rámcové otázky

Stanislav Štarman Květen 2022

1 Topologie sítí Bluetooth – piconet, scatterted, role masterslave

Bluetooth tvoří svojí malou síť. Je tvořena vždy 1 masterem, a až 7 slavy. Takto tvořená síť se nazívá **piconet**.

Je také možnost, že když je poblíž více piconetů, může se master daného piconetu připojit do jiné sítě jako slave => takto vznikne **scattered** net.

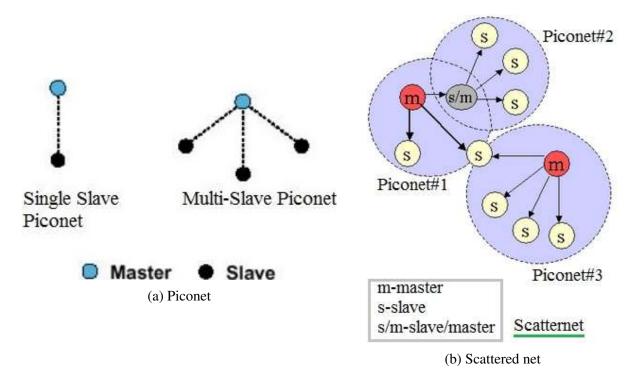
Master je řídící zařízení zpravující komunikaci.

Slave je řízen masterem, synchronizuje si s ním clock. Nemůže komunikovat přímo s ostatními slavy - musí přes mastera. (až na discovery proces)

Komunikace může být buď point to point (master a slave), nebo point to multi point (master posílá všem slavům)

BR/EDR - všichni slavové sdílí společný fyzický kanál.

LE - pro jednotlivé zařízení jsou oddělené komunikační kanály.



Obrázek 1: Topologie Bluetooth

2 Fyzická vrstva pro Bluetooth BR/EDR a LE – hlavní charakteristiky a vlastnosti, výkonové třídy

BR/EDR:// Funguje v pásmu **2,4 - 2,48 GHz**, rozděleném na 79 kanálů, každý má šířku 1 MHz. Povinně musíumět modulaci GFSK (cca 1 Mb/s), pro vyšší rychlosti může mít 4 nebo 8 PSK (není povinné). Průměrná rychlost přenosu je 1 Mb/s - 3 Mb/s. Používá time division duplex TDD. Pro nižší vzájemné rušení využívá frequency hopping - v čase mění frekvenci komunikace (až 1600/s). Dělí se do 3 výkonových tříd (viz obrázek).

LE:// Využívá stejné pásmo 2,4 - 2,48 GHz, ale děleno pouze na 40 kanálů se šířkou 2 MHz. Může nebo nemusí mít ochranné kódování. Vždy používá GFSK. Také využívá TDD a frequency hopping.

Výkonové třídy:

(Na tu 1.5 bych se vykašlal, ale nenašel jsem lepší obrázek)

- 1 desítky metrů
- 2 cca do 10 metrů => klasika v telefonech
- 3 asi do metru

	BR/	EDR	LE		
Power class	Maximum output power	Minimum output power	Maximum output power	Minimum output power	
1	100 mw (+20 dBm)	1 mW (0 dBm)	100 mw (+20 dBm)	10 mW (+10 dBm)	
1.5	N/A	N/A	10mW (+10 dBm)	0.01 mW (-20 dBm)	
2	2.5 mW (+4 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	2.5 mW (+4 dBm)	0.01 mW (-20 dBm)	
3	1 mW (0dBm)	N/A	1 mW (0dBm)	0.01 mW (-20 dBm)	

Obrázek 2: Bluetooth výkonové třídy

3 ZigBee – hlavní charakteristiky a vlastnosti, topologie sítě, komunikace MESH

- Vybudován na standardu 802.15.4
- Využívaná pásma: Evropa 868 MHz, USA a Austrálie 915 MHz, jinde 2,4 GHz.
- Nízká přenosová rychlost 250 kb/s
- Low power až 1000 dní (jasně...)
- Přenos na větší vzdálenost pomocí MESH sítí

Hlavnímy lákadly měly být nízká cena, spotřeba a velikost, jednoduchá konfigurace, MESH síť a velmi malý čas probuzení/navázání spojení - 30 ms (bluetooth až 3s).

Komunikace MESH: Umožňuje zařízením komunikaci s více zařízeními v síti. Každé zařízení musí umět přijmout a odeslat vlastní data, i přeposílat data od jiných zařízení. Je spoustu různých cest k danému zařízení. Umožňuje jednoduché zvětšování sítě.

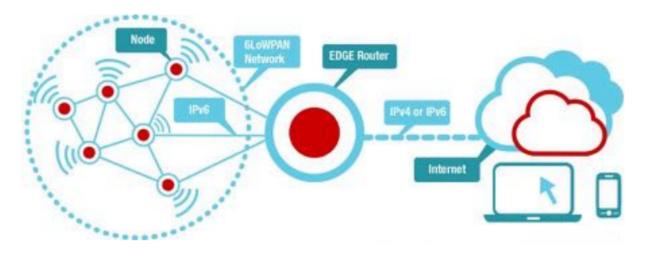
Vlastnosti:

- Self-forming zařízení mohou navázat komunikační cesty když se objeví nové zařízení.
- **Self-healing** pokud je zařízení odebráno ze sítě, zbylá síť si najde alternativní cesty pro komunikaci.

4 6LoWPAN – hlavní charakteristiky a vlastnosti, topologie sítě, architektura

- Zkratka znamená IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
- standard 802.15.4 v pásmu 2,4 GHz.
- Venkovní dosah max 200 m.
- Přenosová rychlost až 200 Kb/s
- využívá MESH síť
- one to many a many to one routing

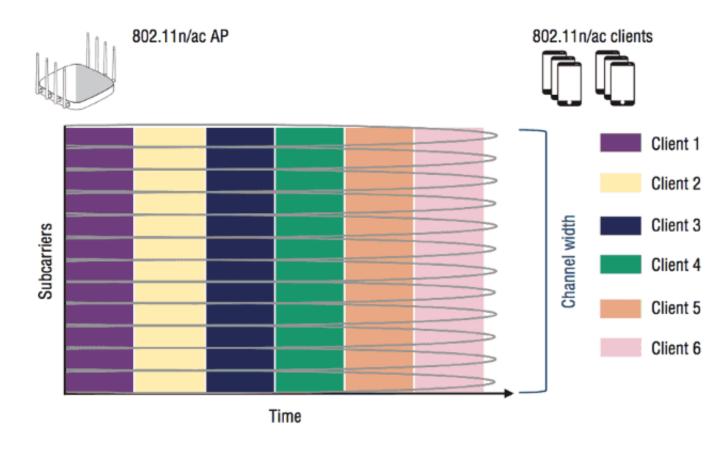
Bylo umožněno "zabalení" a komprese headru které umožňuje posílání IPv6 paketů přes sítě s 802.15.4. Cílem přidělování IP malým zařízením bylo umožnit funkci aplikací které potřebují bezdrátové připojení k internetu s nízkou rychlostí. Není potřeba gateway, stačí router který umí připojit 6LoWPAN do IP.



Obrázek 3: Struktura sítě 6LoWPAN

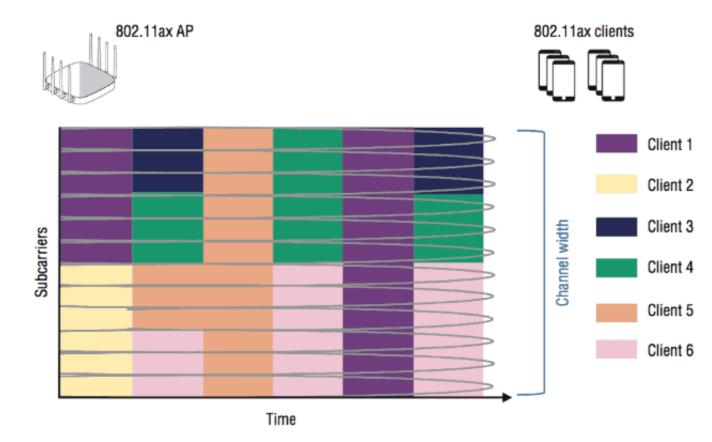
5 Evoluční rozdíly mezi jednotlivými standardy Wi-Fi sítí a princip základních metod pro komunikaci v jednotlivých standardech WiFi (OFDM, MIMO, MU-MIMO, apod.)

OFDM: Modulace, která využívá toho že máme v našem frekvenčním pásmu X subnosných, a na každé z nich máme nějakou modulaci (např. QAM). Díky tomu máme paralelní přenos, což zvyšuje rychlost. V základu je OFDM single-user, ale když chceme multi-user, dá se to časově multiplexovat - v daném timeslotu nějakému uživateli přiřadíme celý přenosový kanál. Pokud ho ale nevyužije celý tak je to waste.



Obrázek 4: OFDM

OFDMA: Stejné jako OFDM s tím rozdílem, že už umíme v daném timeslotu přidělit různým uživatelům různé subnosné - tím pádem se nám už nestane, že bychom měli nevyužitý prostor. Pokud uživatel nepotřebuje kanál celý, zbytek se přidělí někomu jinému.



Obrázek 5: OFDMA

(SU)MIMO: (Multiple Input Multiple Output) je technologie, která nám umožňuje vysílat více datastreamů, pokud máme víc antén. Přijímací zařízení je schopno signály rozdělit a určit, která anténa je vyslala. To nám umožňuje hodně zvýšit kapacitu přenosu. Je to ale pouze single-user. Zavedeno u Wi-Fi 4. Značení: AxB:C (počet vysílacích antén x počet přijímacích antén : počet datových kanálů)

MU-MIMO: (Multi User - MIMO) umožňuje využití MIMO pro více uživatelů najednou, tedy pokud se např k Wi-Fi připojí 2 uživatelé, nedělí se o kapacitu přenosu, ale každý má svůj vlastní stream. Zavedeno u WiFi 5 pro downlink, u WiFi 6 pro downlink i uplink.

Wi-Fi standardy:

WiFi je založena na standardu 802.11. Jednotlivé standardy se pak dále liší hlavně podle frekvenčního pásma, přenosových rychlostí, využívaných modulacích a funkcích.

Generation IEEE standard

Wi-Fi 1	802.11b
Wi-Fi 2	802.11a
Wi-Fi 3	802.11g
Wi-Fi 4	802.11n
Wi-Fi 5	802.11ac
Wi-Fi 6	802.11ax
Wi-Fi 6e	802.11ax
Wi-Fi 7	802.11be

Obrázek 6: WiFi standardy

802.11b/Wi-Fi 1:

- Pásmo 2,4 GHz, 22 MHz kanál
- EU 13 kanálů, USA 11, Japonsko 14
- Modulace: BPSK, 2/4/8 QPSK
- Max. rychlost 11 Mb/s

802.11a/Wi-Fi 2:

- Pásmo 5 GHz, 20 MHz kanál
- OFDM modulace
- 52 subnosných
- 4 pro servis, 48 pro přenos dat

802.11g/Wi-Fi 3:

- Pásmo 2,4 GHz, 20 MHz kanál
- OFDM s QAM modulací
- 52 subnosných
- 4 pro servis, 48 pro přenos dat
- kompatibilní s 802.11b
- Max. rychlost 54 Mb/s
- Vlastně vzali 802.11a a zkopírovali to pro pásmo 2,4 GHz

802.11n/Wi-Fi 4:

- Pásmo 2,4/5 GHz, 20/40 MHz kanál
- Zavádí (SU)MIMO-OFDM
- 4x4:4 (4 Tx/Rx antény, 4 prostorové streamy)
- 56/112 subnosných

802.11ac/Wi-Fi 5:

- Pásmo 5 GHz, 20/40/80/80+80/160 MHz šířka pásma
- uplink MIMO / downlink MU-MIMO OFDM 8x8:8 MU 4 users
- Zvětšená velikost rámce

802.11ax/Wi-Fi 6:

- Pásmo 2,4/5/6 GHz, 20/40/80/80+80/160 MHz šířka pásma
- povinné LDPC pro velká pásma, pro úzká BCC (Binary Convolution Code)
- zavádí OFDMA
- full MU-MIMO

MCS Coding Data rate (Mbit/s)					s)		
index	Modulation	rate	20 MHz	40 MHz	80 MHz ¹	160 MHz ¹	
0	BPSK	1/2	6.5	13.5	29.3	58.5	
1	QPSK	1/2	13	27	58.5	117	
2	QPSK	3/4	19.5	40.5	87.8	175.5	
3	16-QAM	1/2	26	54	117	234	
4	16-QAM	3/4	39	81	175.5	351	
5	64-QAM	2/3	52	108	234	468	
6	64-QAM	3/4	58.5	121.5	263.3	526.5	
7	64-QAM	5/6	65	135	292.5	588	
8	256-QAM	3/4	78	180	351	702	Added in IEEE 802.11ac
9	256-QAM	5/6	N/A	200	390	780	7.0000 111 1222 002.12100
10	1024-QAM	3/4	129	258.1	540.4	1080.9	
11	1024-QAM	5/6	149.4	286.8	600.5	1201	Added in IEEE 802.11ax

Obrázek 7: Hodnoty pro 802.11n/ac/ax

802.11ah:

- Pásmo sub 1 GHz, 1/2/4/8/16 MHz šířka pásma
- Pro IoT, až 8192 připojených stanic
- Velký dosah, nízká spotřeba
- OFDM
- Dosah 1 km

6 Komunikace v sítích Wi-Fi (broadcast, fyzická vrstva, FHSS, DSSS,...), topologie

Využívané technologie: FHSS, DSSS, Infrared light (IR), OFDM, High-Rate Direct Sequence (HR/DSSS), Extended Rate, MIMO (High-Throughput)

Broadcast:

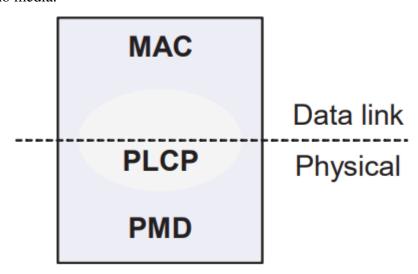
Používá se pro detekci přítomné Wi-Fi sítě, nebo taky síly signálu. Router pravidelně (třeba jednou za 100 ms) vyšle do okolí informace jako SSID, typ zabezpečení, data rate atd. Na broadcast se neodpovídá ACK. Měl by mít jen jeden rámec.

Fyzická vrstva:

Fyzická vrstva obsahuje Physical Layer Convergence Procedure (PLCP) a Physical Medium Dependent (PMD).

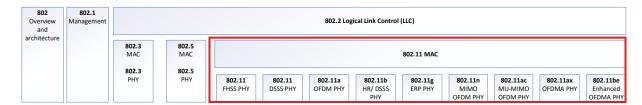
PMD: Kódování, reprezentace dat na fyzické vrstvě.

PLCP: Mapuje přenonsové framy vyšších vrstev na fyzickou. Synchronizace přijímače a vysílače. Detekce obsazeného média.



Obrázek 8: Struktura PHY 802

Další dělení 802:



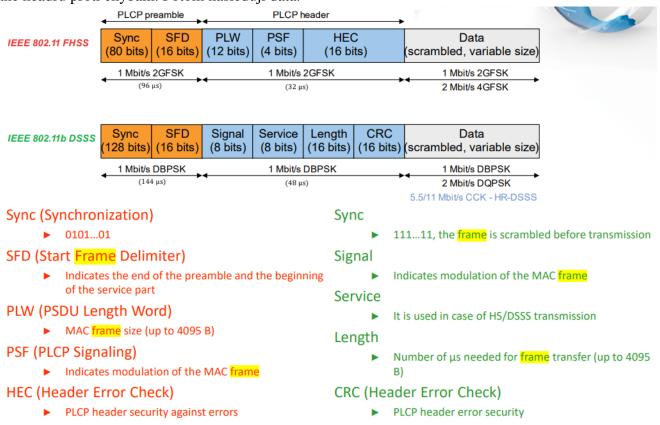
Obrázek 9: Vrstvy 802

Struktura rámce:

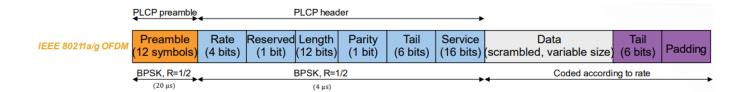
Rámec je klasicky ve tvaru |PLCP preamble | PLCP header | DATA|. Délka a obsah se může u jednotlivých standardů lišit, ale struktura je stejná:

PLCP preamble: Zajišťuje synchronizaci a indikuje konec preamble/začátek servisní části (header).

PLCP header: Nese informace o velikosti MAC framu (případně době vysílání), modulaci a ochraně headru proti chybám. Potom následují data.



Obrázek 10: Struktura rámce 802.11b

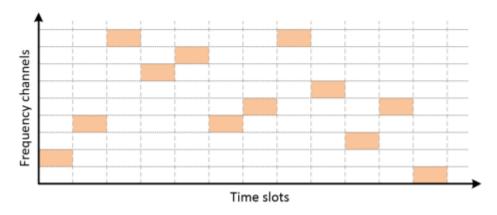


- ▶ Rate
 - Indication of used baud rate (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54)
- Length
 - MAC frame size (up to 4095 B)
- ▶ Tail
 - > 000000, activation of the convolutional encoder
- Service
 - > 0000..00, the first 6 bits activate the scrambler
- Padding HEC (Header Error Check)
 - > The data field is cropped in such a way that its length is an integer multiple of the block size. The block size depends on the modulation and coding of the given bit rate.

Obrázek 11: Struktura rámce 802.11a/g

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS):

- Pseudo náhodný výběr frekvence vysílacích kanálů
- Stanice skáče mezi komunikačními kanály
- Komunikační spektrum sdílí více stanic



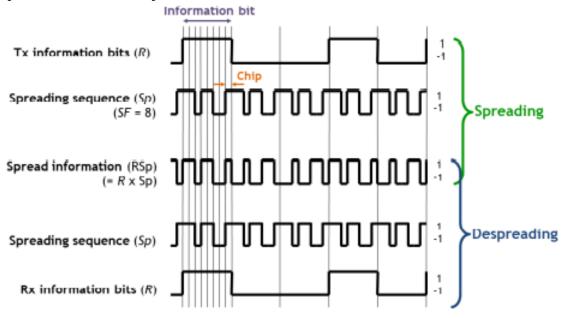
Obrázek 12: FHSS

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS):

- Každý bit informace je zpracován určitým počtem bitů rozprostírací (chipping) sekvence
- Rozprostírací sekvence na Tx a Rx identické a synchronizované

• Chip - binární hodnota pro rozprostírání (kódování)

Spreading factor (SF) - je to podíl rychlostí rozprostírací sekvence (n) a informační (i). Udává počet bitů rozprostírací sekvence na jeden informační bit. SF = n/i



Obrázek 13: DSSS

Topologie:

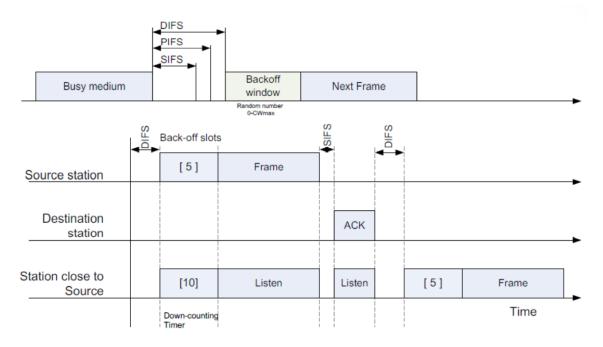
Zařízení ve Wi-Fi síti komunikují přes infrastruktura - APs. Hlavní topologií je **Ad-hoc**. Nemá centralizované řízení, má nezávislé BSS (IBSS). Všichni klienti jsou si rovni - i s AP. Síť je dynamická.

7 Princip přístupových metod ve Wi-Fi sítích (DCF, PCF) včetně realizace kvality služby

DCF (Distribution Coordination Function):

Využívá CSMA/CA. Pomocí DCF si jednotlivý účasníci v rámci Wi-Fi sítě vyjednávají prostor pro komunikaci. Používá se u contention-based protokolů, to znamená, kde může dojít ke kolizi. (např. Wi-Fi). Než zařízení začne vysílat, musí poslouchat po dobu DIFS. Pokud zjistí že je na kanálu nějaká komunikace, zkusí znovu poslouchat za nějakou dobu. Pokud je po celou dobu DIFS na kanálu volno, vygeneruje si náhodný backoff time, po kterém začne vysílat.

DCF Interframe Space (DIFS) - je to minimální doba, kterou musí zařízení čekat po přijetí acknowlage o ukončení minulého přenosu.



Obrázek 14: DCF

EDCF (**Enhanced DCF**): Rozšíření DCF o prioritizaci - je možné udělat, že nějaké zařízení bude mít vyšší prioritu pro připojení. Dají se nastavit kategorie, které mají svůj čekací čas, který je menší než DIFS - pokud mám vyšší prioritu, čekám kratší dobu a mám větší šanci že se připojím.

Priority (0-7)	Access category	Data type
0	0	Best effort
1, 2	1	background
3, 4, 5	2	video
6, 7	3	voice

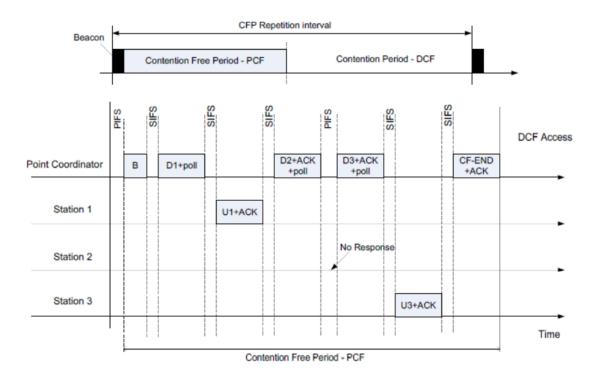
Obrázek 15: EDCF

PCF (Point Coordination Function):

Používá se u contention-free protokolů, to znamená tam, kde nemůže dojít ke kolizi. AP se jednot-livých klientů vždy zeptá jestli mají data pro odeslání, pokud ano, odešle, pokud ne, musí odeslat null frame. Pak se zeptá dalšího. (např. token ring). Moc se nepoužívá.

PCF Interframe Space (PIFS) - Minimální doba kterou AP čeká na odpověď zařízení. Pokud během té doby neodpoví, AP se jde zeptat dalšího zařízení

HCF (**Hybrid Coordination Function**): Rozšíření PCF. AP má možnost dát zařízení určitý čas (v ms) pro odeslání většího množství dat.



Obrázek 16: PCF

8 Autonomní komunikační systémy – požadavky na komunikační protokoly a technologie pro splnění požadavků, pravděpodobnost chyby v komunikaci a zvyšování spolehlivosti systémů

Jsou to systémy které operují s velkým stupněm, nebo úplnou autonomií. Je nutné aby komunikace měla dostatečnou rychlost, velmi malé zpoždění, a vysokou spolehlivost. Také je vhodné mít určitou redundanci (záložní systém).

Požadavky:

- Latence obsahuje dobu přenosu, zpracování, případně opětovné vyslání, musí být v řádech ms nebo méně.
- Spolehlivost pravděpodobnost, že data s velikostí D jsou správně přijata během času T je 99,99 % nebo více.
- Dostupnost/pokrytí pravděpodobnost že je daná služba dostupná větší než 99,99 %

Velké požadavky na LLC (Low Latency Communication) a URC (Ultra Reliable Communication) => URLLC

	Service	Reliability 1-10-× [-]	E2E Latency [ms]	E2E jitter [μs]
	Assisted	5	5	
Driving	Co-operative	5	10	
	Tele-operated	5	20	
Industry 4.0	Machine control	5	1	1
	Factory automation	4	10	100
	Extremely reliable		4	_
	factory automation	9	1	1
	Process automation	6	50	20000
Tactile Internet		9	1	

Obrázek 17: Požadavky na komunikaci

Požadavky na URLLC:

- E2E latence 1 ms
- krátké přenosové časy, redukování doby zpracování paketů
- 5ti devítková spolehlivost (99,999 %)
- Dostupnost/pokrytí 99,99 %
- Husté rozmístění AP

9 Protokoly pro komunikaci vozidel založené na standardech IEEE – základní charakteristiky a vlastnosti komunikace, vlastnosti protokolů a jejich rozdíly (šířka pásma, MAC, komunikační zprávy)

802.11p:

- modifikovaný 802.11 pro menší overhead a nízkou latenci
- funkce v licensovaném ITS pásmu 5,9 GHz

Je to základ pro Dedicated Short-Range Communication (DSRC) v USA, využívající Wireless Access in Vehicular Enviroment (Wave) a Cooperative - Intelligent Transportation System (C-ITS) v Evropě, využívající Intelligent Transport System (ITS-G5).

PHY založena na 802.11a OFDM se šířkou pásma 10 MHz, ale časování OFDM je zdvojené. Má 52 subnosných s modulací BPSK, QPSK, 16/64QAM.

MAC využívá EDCF a CSMA/CA

CH 172	CH 174	CH 176	CH 178	CH 180	CH 182	CH 184
5 860 MHz	5 870 MHz	5 880 MHz	5 890 MHz	5 900 MHz	5 910 MHz	5 920 MHz
Accident avoidance safety of life	Service	channels	Control channel	Service (channels	High power long range

Obrázek 18: Rozdělení kanálů 802.11p

802.11bd:

- vyšší spektrální účinnost, zvýšená
- zdvojnásobený dosah oproti 802.11p
- až do rychlostí 500 km/h
- plně zpětně kompatiblní s 802.11p
- Dva 10 MHz kanály (primární a sekundární)
- PHY a MAC založena na 802.11.ac s polovičním rozestupem subnosných
- vylepšený výkon díky "midambles" pro lepší odhad kanálu
- Low Density Parity Check kódování



Obrázek 19: 802.11bd frame