

# BTSA zkouška

## 1. Protokoly pro řízení přístupu k médiu – deterministické vs nedeterministické (náhodné) – účel, hlavní rozdíly, výhody a nevýhody

Deterministické => Je předem známo kdo má zrovna přístup k médiu (např. předávání tokenu, nebo přiřazení slotu v mobilních komunikacích)

Nedeterministický => Kdokoliv může začít vysílat kdykoliv (např. Aloha)

Deterministické protokoly mají větší overhead, tj. musí si spolu povídat, aby se domluvili, což je fujky. Na druhou stranu je lze snadno nasimulovat a data zbytečně nemizí ve vzduchu.

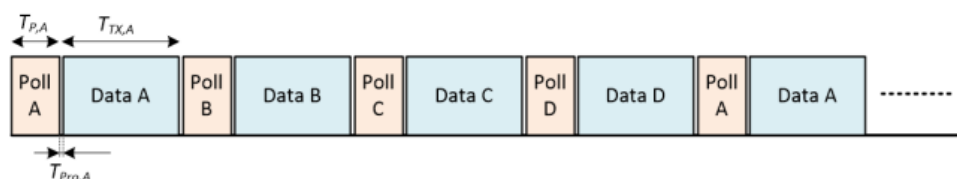
Nedeterministické protokoly jsou proto výhodnější pro sítě s nižším objemem dat, která zároveň nejsou tak kritická (Prostě když čteš jednou za hodku vlhkost v kundě Kubíkovo máme, tak to prostě pošleš do vzduchu a buď to dorazí a ty přiřazíš nebo to nedorazí a přiřazíš i s lubrikantem místo abys řešil nějaký management sítě).

## 2. Deterministické protokoly pro přístup k médiu (Polling, Token passing, Reservation-based protocols) – princip, efektivita, výhody a nevýhody

### Polling

Centrální prvek oznámí, kdo bude vysílat, počká na dokončení přenosu a pak vyzve dalšího

$$Efficiency = T_{TX} / (T_p + T_{pro} + T_{TX})$$



$T_{Tx}$  je čas vysílání

$T_p$  je čas vysílání pollingu (tj. čas kdy centrální prvek oznamuje, kdo jde na věc)

$T_{pro}$  je čas na processing (než tomu troubovy dojde, že to tam má šoupnout)

## Token

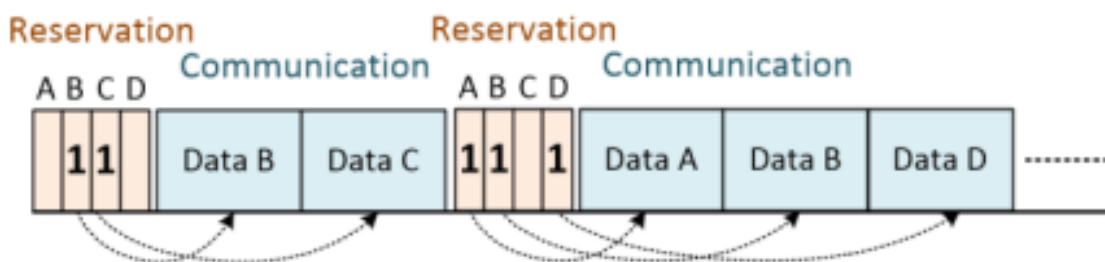
Uživatelé si mezi sebou předávají token. Když máš token, tak vysíláš.

Výhoda je, že chybí centrální prvek.

Problém nastane, když zařízení s tokenem klekne (dá se to ošetřit)

Efektivita sítě podobná jako u pollingu

## Reservation-based



V rezervační části každé zařízení oznámí, jestli chce vysílat.

Komunikační část je rozdělená na sloty. Jejich počet odpovídá počtu zařízení, které chtějí mluvit. Vzniká omezení maximálního počtu zařízení (dle délky rezervační části).

Efektivita jako u pollingu jen  $T_p$  se nahradí  $T_r$ , což je délka rezervační části

Velká výhoda oproti předchozím je, že zařízení nezíská možnost vysílat, když nemá co (např. u tokenu dostane token a zase ho předá dál, místo aby ho prostě skipli).

## 3. ALOHA protokol – Pure vs Slotted ALOHA – princip, výhody a nevýhody, pravděpodobnost kolize, odvození max propustnosti

Maximálně basic shit. Prostě chceš něco poslat, tak to pošli.

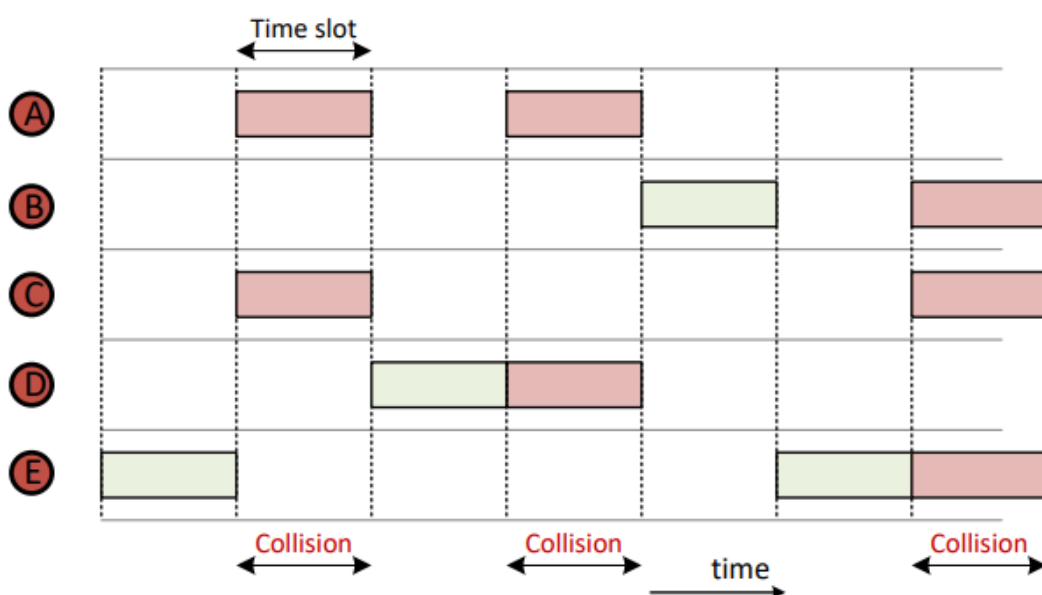
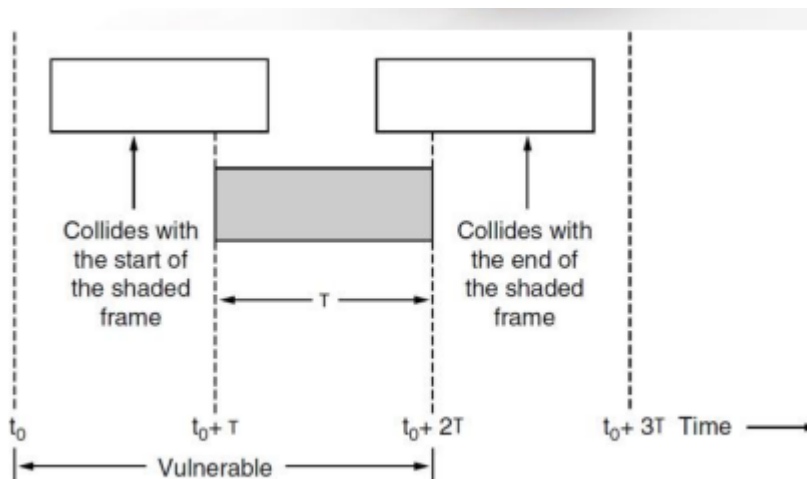
Výhody -> minimální overhead

Nevýhody-> časté kolize (záleží na různých parametrech sítě. Když máš dvě čidla, jedno pravidelně posílá data v celou a druhé v půl, tak jsi asi v klidu)

Pure aloha -> vysílání může začít kdykoliv

Slotted aloha -> čas se diskretizuje na sloty. Vysílání jen v rámci slotu. Potřebuje synchronizaci mezi zařízeními.

Existuje cosi jako vulnerable interval, tj. interval, ve kterém nesmí nikdo vysílat, aby mi nerozeslal můj přenos. Z obrázku je naprosto a nepochybně zřejmé, že pro pure je to  $2 \cdot T$  a pro slotted jen  $1 \cdot T$  ( $T$  je délka paketu)



Když je vulnerable interval kratší, klesá počet kolizí, zvyšuje se propustnost

## Pro fajnšmekry

$$S = GP_0$$

|← Vulnerable →|

Successful transmission in  $T$ :  $P_0 = e^{-G}$  (for Poisson distribution of frame arrivals)

### Vulnerable period

- Period within which any other transmitted frame inevitably causes collision
- **Collision** if another transmission starts **within current  $T$  and preceding  $T$**
- **Vulnerable period for pure ALOHA is  $2T$  → number of frames is  $2G$**
- $P_0 = e^{-2G}$

Throughput  $S = Ge^{-2G}$

### Maximum throughput ( $S_{max}$ )

- $S' = 0$
- $e^{-2G} - 2Ge^{-2G} = 0 \rightarrow \text{maximum at } G = 1/2$
- $S_{max} = \frac{1}{2}e^{-2 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{1}{2}e^{-1} = \mathbf{0.184}$

## 4. CSMA (1-Persistent, Non-persistent, p-persistent, CA, CD) – princip, problémy (Hidden node, exposed node)

CSMA == Carrier Sensing Multiple Access, tj. očmucháš si nosnou a z toho zjistíš, jestli někdo vysílá. Je to stejné, jako když nás učili, že skákat někomu do řeči je neslušné

### Non-persistent

Očuchá nosnou. Pokud někdo vysílá vygeneruje náhodné číslo a dle něj nastaví back-off interval. Po uplynutí tohoto intervalu znovu čuchá. Když nic nevyčuchá, vysílá

Výhoda -> nemá slotted kanál, tj. menší overhead

Nevýhoda -> zařízení má trochu víc režie s tím random čekáním a čucháním

## p-persistent

Očuchá nosnou. Pokud nikdo nevysílá začne sám vysílat s pravděpodobností  $p$ .  $p$  se dá různě optimalizovat. Různá zařízení mohou mít i různá  $p$ , pokud je to výhodné.

Funguje to tak, že si vygeneruju random číslo od 0 do 1. Pokud  $RND < p$ , vysílám.

Speciální případ je pro  $p=1 \Rightarrow$  1-persistent, tj. vždy, když je volná nosná, vysílám.

Větší  $p$  znamená větší množství kolizí, ale moc malé  $p$  může způsobit zbytečné prodlevy mezi vysíláním.

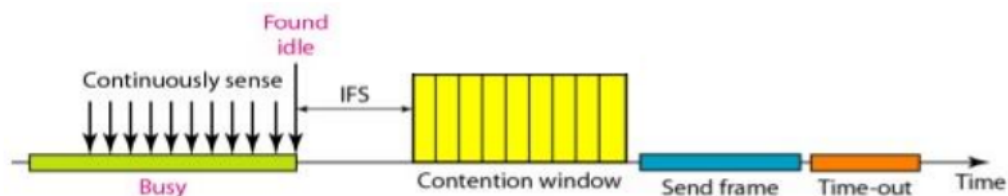
Pokud se zařízení rozhodne nevysílat, čeká dobu jednoho slotu na další pokus.

## CD - Collision detection

zjišťuju, jestli došlo ke kolizi (v ethernetu se to dělá, ve wireless to v podstatě nejde, takže nevím, proč to v bezdrátových technologiích vůbec zmiňují.)

## CA - Collision avoidance

- ▶ **Sense before transmit**
- ▶ **If channel is busy, wait**
- ▶ **If channel is idle, wait Inter Frame Space (IFS)**
  - Mitigate signal propagation issue ( $\sim \mu s$ )
- ▶ **If channel is still idle, wait for Contention Window**
  - Random duration (in slots) to reduces collision probability
- ▶ **Send frame**
- ▶ **Wait for ACK**
  - In not received within **Time out**, then repeat the procedure



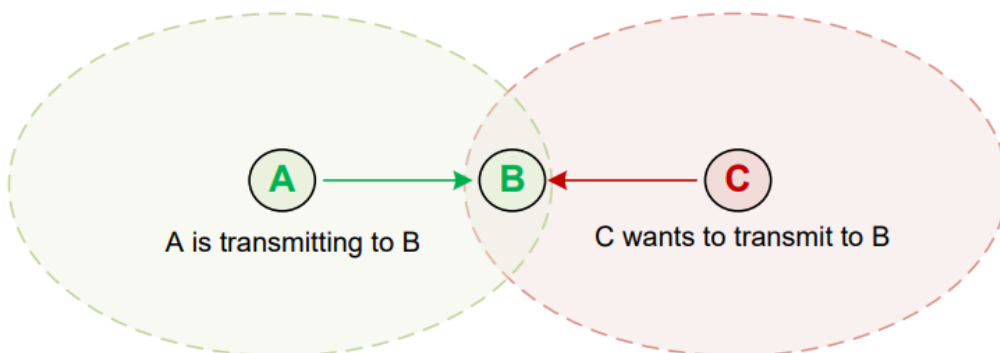
Snaha o minimalizaci pravděpodobnosti kolize

# Problémy

## Hidden node

Očuchám nosnou a nezjistím, že dochází k vysílání, protože zařízení, který mluví je mimo můj dosah

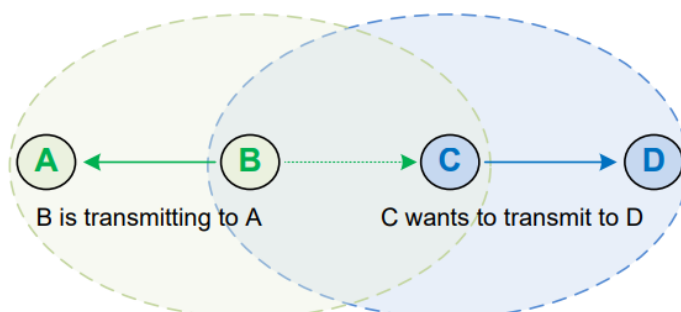
- **A and C in communication range of B**
  - A and C can communicate with B
- **A and C out of communication range of each other**
  - A and C cannot communicate with each other
- **A transmits to B, but C does not hear it (too far from A)**
- **C sees the channel idle and transmits to B → collision**



## Exposed node

K vysílání sice dochází, ale já chci mluvit s někým, kdo je mimo jeho dosah. Tzn. příjemce by data dostal, ale stejně musím čekat

- **A and C in communication range of B**
- **A and C out of communication range of each other**
- **B transmits to A; and C wants to transmit to D**
- **C hears B→A communication, and thus stays idle**
- **C cannot reach A (it is too far) so C could transmit to D → wasting bandwidth**



## 5. WSN – základní charakteristiky a vlastnosti

WSN - wireless sensor network

### Charakteristiky

- Nodeů bude strašlivě moc
- Jednotlivé prvky mohou být rozmístěné náhodně
- Každý prvek se může chovat jako zdroj, příjemce nebo relay (tzn. jen přeposílá dál)
- Nodes jsou levné a nic nežerou

## 6. Směrování ve WSN – proces (discovery, selection, maintenance), základní princip, metriky pro výběr cesty

### Route discovery

Zdroj posílá route request zprávu

Příjemci jí dále forwardují dle daného protokolu (např. ve floodingu jí pošlou všichni všem)

Když zprávu přijme příjemce, který pošle zpátky route response zprávu, která se šíří z5 stejnou cestou

Tento proces může mít předem daná omezení, např. maximální počet hopů, maximální latency

### Route selection

Všechny cesty, které se najdou při route discovery se porovnávají na základě zvolené metriky. Hledá se maximum (např. přenosová rychlost) nebo minimum (např. počet hopů). Může být zadáno i další omezení, např. maximum propustnosti se spotřebou pod určitou hranici

## Route maintance

Aktualizování tras (něco třeba chcípne, nebo zrovna přelétají stěhovavý ptáci a zhorší se tím přenos)

Vždy se hledá kompromis mezi aktuálností cest a overheadem (víc aktualizací blokuje kanál a žere baterku)

rozlišení na:

- Proactive (pravidelné aktualizace routovací tabulky)
- Reactive (Najde cestu teprve když se jde na věc, neudrží si tabulku)
- Hybrid (navrhuji přejmenovat na biactive)

## Metriky

### Number of hops

### Energy consumption (or efficiency)

- ▶ Energy consumed for communication

### Network life-time

- ▶ Time before the first node dies; balance energy (avoid nodes with low energy)

### Delay

- ▶ Time required to deliver information from Source to Sink

### Packet delivery ratio (reliability)

- ▶ Ratio of packets delivered (from Source to Sink) to all sent packets (in a time limit)

### Route stability

- ▶ Fluctuation of route selection metric (e.g. channel quality, node energy,...)

### Management cost (overhead)

- ▶ Amount of redundant information needed to deliver packets (route discovery,...)

### Throughput/data rate/capacity/...

- ▶ Amount of information (bits, packets,...) delivered over a period of time

... and others including combinations of these metric

Tady asi stačí znát nějaké příklady



## 7. Směrovací protokoly pro WSN a jejich princip – Flooding a jeho optimalizace, Gossiping, Expanding Ring Search a jeho varianty (Blocking, Two-side), Low-energy adaptive clustering hierarchy

### Flooding

Předpokládám, že to peklo máme ještě všichni trochu v paměti  
Přijmeš zprávu a není pro tebe, tak jí pošleš dál všem v dosahu.

Obrovský overhead

Žádná routovací tabulka, žádná logika

Musí tam být TimeToLive, jinak by se to posílalo do nekonečna

### Vylepšení

- Neposílej stejnou zprávu dvakrát
- Pokud stejnou zprávu přijmeš od dvou sousedů, tak jí neposílej (všichni v tvém dosahu jí pravděpodobně už mají)
- Pokud je soused blízko (znáš jeho polohu, nebo je RSS zprávy velká), tak zprávu neposílej

### Expanding ring search

Flooding, ve kterém postupně navyšuji TTL

Blocking - Místo aby znovu poslal source zprávu se zvětšeným TTL, rovnou jí posílají nodey nejdál od sourceu

Two-sided - Když najdu node, který má ve směrovací tabulce cíl, tak to složím dohromady s dosud nalezenou cestou a ta dáááá mám cestu k cíli.

### Gossiping

Jako flooding, ale posílám dál jen s pravděpodobností  $p$ . Pokud  $p = 1$ , mám flooding.  $p$  může být různé pro jednotlivé nodey (např. pokud je jeden node jediným prvkem spojujícím dvě oblasti, měl by mít  $p = 1$ , naopak v hustých oblastech je lepší dát  $p$  nižší)

## Low-energy adaptive clustering hierarchy

Oblast je rozdělená na Clustery. Každý Cluster má svého Cluster heada (Lord of the Cluster). Cluster head je středobodem všeho dění, tzn. všechny nodey směřují všechny zprávy směrem k němu.

Funkce Cluster heada je putovní a její přidělení je náhodné. Při přidělení je snaha o maximalizaci doby provozu sítě -> když má někdo vyžádanou baterku nestane se Cluster headem

Cluster headi se pak ozvou a zbylá zařízení se rozdělí do Clusterů dle RSS přijatého od jednotlivých CH (sklopí ouška před tím, kdo na ně nejvíc křičí)

Jednotlivé clustery se oddělují pomocí TDMA (případně i CDMA)

## 8. Implementace Bluetooth – frekvenční pásmo, přenosová rychlost, doba sestavení spojení, třídy a dosah, aplikace

2.4 - 2.48 GHZ, až 3 Mbit/s, sestavení spojení nějaké stovky ms (prý až 3 s)

Class	Vysílací výkon	Dosah
1	100 mW (20 dBm)	100 m
2	2.5 mW (4 dBm)	10 m
3	1 mW (0 dBm)	1 m

Aplikace si asi každý dokáže vymyslet. Obecně jde o nahrazení kabelu u všemožných periférií

## 9. Topologie sítí Bluetooth – piconet, scattered, master and slave

Piconet = jeden master a jeden nebo více slave

Scattered = více masterů

Vztah master a slave je vždy pevně definován

Pro scattered síť může jedno zařízení být pro jednoho souseda master a pro druhého slave, ale komunikace master-master není možná

## 10. BLE – role, funkce účel GATT, bezpečnost, frekvenční pásmo, dosah, přenosová rychlost, aplikace

2.4 GHz, dosah <100 m, přenosová rychlost až 1.37 Mbit/s (ale reálně z toho tahat 1 Mbit/s už je celkem znáselnění té low power mašlenky), rychlé sestavení spojení (jednotky ms), 10 dBm výkon

### Role

- Central - master (mobil)
- Peripheral - slave (chytrá žárovka, hodinky)
- Observer - přijímá pouze data z broadcastu (centrální jednotka sensorové sítě)
- Broadcaster - posílá read-only data na broadcast (sensory)

### GATT

Slouží k rozdělení celého balíku dat na jednotlivé hodnoty, ke kterým pak může centrální zařízení jednotlivě přistupovat.

Periferie je tzv GATT server, centrální zařízení je GATT client

Periferie má tzv Profile, který se skládá z Services, které se pak dělí na Characteristics (např heart rate profile -> heart rate service -> heart rate measurement, body sensor location, heart rate control point)

### Zabezpečení

šifrování 128bit AES ať už je to cokoliv

Párování bez klíče, se sdíleným klíčem nebo mimo pásmo

Zabezpečení lze dále provádět i nad BLE stackem

### Aplikace

sensorové sítě, domácí automatizace, lokalizace (díky ble beacon) a mnoho dalšího

## 11. ZigBee – frekvenční pásmo, dosah, přenosová rychlost, síťové topologie, význam MESH, aplikace, doba sestavení spojení

pásmo 2.4 GHz a 868 MHz (pro Evropu)

přenosová rychlost stovky kbit/s (max 1 Mbit/s)

dosah do 100 m, ale díky mesh topologii si to dokáže předávat

Díky Mesh topologii je snadné nasazení. Síť je self-forming a self-healing

sestavení spojení v desítkách ms

## 12. 6LoWPAN – frekvenční pásma, dosah, přenosová rychlost, síťové topologie, význam MESH, aplikace, doba sestavení spojení (výhody a nevýhody)

"IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network"

Jde o řadu mechanismů jak obejít to, že IPv6 header je tak zkurveně dlouhý a nějaký hloupoučký wireless sensory jí nedokážou poslat.

frekvence 2.4 GHz (868 MHz do toho jde taky nějak znásilnit)

dosah do 200 m

data rate do 200 kbit/s (nemá význam větší vzhledem k účelu)

Výhoda až kolem stovky zařízení, mesh, long range, low power, low cost, zabezpečení (horší než zigbee), IPv6

Nižší imunita proti rušení

Automatizace, sensorové sítě

## 13. Fyzická vrstva ve Wi-Fi (FHSS, DSSS, OFDM), základní princip, výhody/nevýhody, topologie Wi-Fi sítí (infrastruktura, ad-hoc, mesh)

### FHSS

Frequency hopping spread spectrum

Na základě hopping sequence přeskakuje mezi jednotlivými kanály

Zvyšuje odolnost proti interferenci, ale snižuje přenosovou rychlost  
Reálné prostředí se chová jako hřebenový filtr (vícecestné šíření), takže se může stát že jeden kanál bude výrazně víc utlumený a pak dochází ke ztrátám (normálně bys prostě skočil na jiný kanál a tam zůstal, ale takhle se to děje v podstatě náhodně)

## DSSS

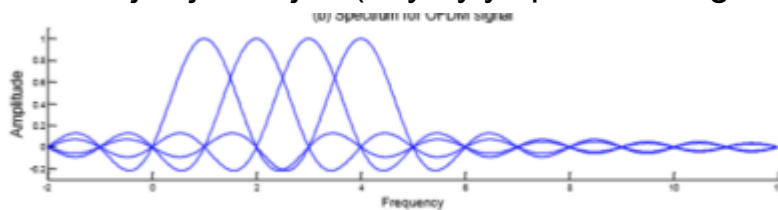
Direct sequence spread spectrum

Každý bitík sečtu s spreading sequence. Tím dojde k umělé navýšení redundance a tím je signál odolnější k rušení, ale snižuje se užitečná přenosová rychlost

## OFDM

orthogonal frequency division multiplex

Místo abych kolem kanálu nechával ochranné pásmo, narvu kanály k sobě tak jak jen to jde (aby byly spectra ortogonální pro hnidopichy)



Efektivní využití spectra ale velký poměr špičkového ku střednímu výkonu (chce to sakra dobrý zesík, aby to nezkreslil) a náchylné na pana Dopplera

## Topologie

- S infrastrukturou (máš AP a k němu se připojí mobil, notebook...)
- Ad-hoc (zařízení jsou rovnocenná, tzn. mobil si s notebookem přímo předávají data po wi-fi místo aby to poslali přes AP)
- Mesh (všechno dohromady)

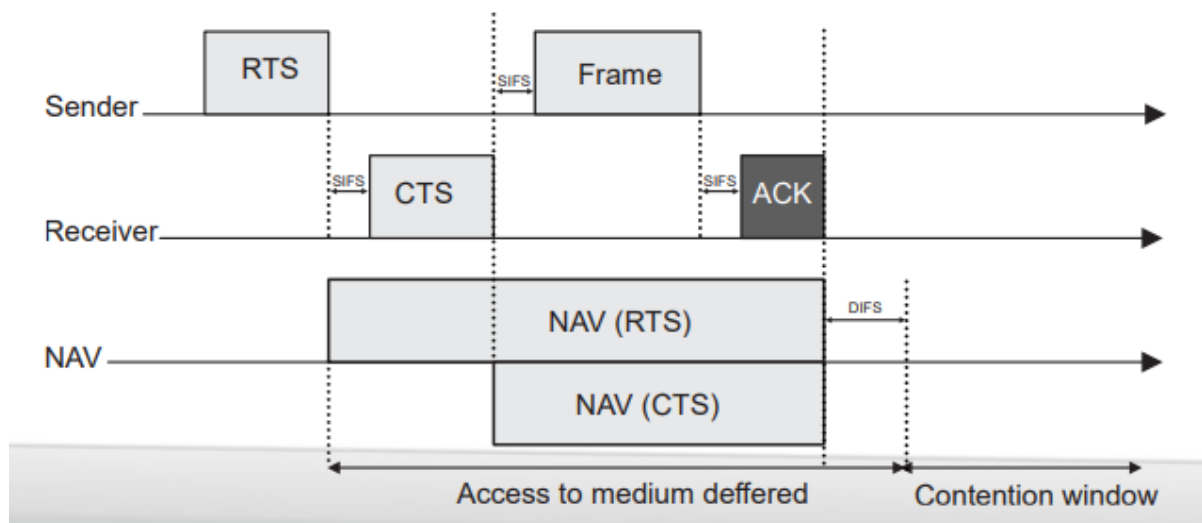
## 14. Princip přístupových metod ve Wi-Fi sítích (CSMA-CA, DCF, RTS/CTS, PCF) včetně realizace kvality služby

Používá se Carrier sensing multiple access s collision avoidance (viz 4). Pravidelně se střídá PCF a DCF režim provozu.

### DCF

Distributed coordination function - AP neřídí přístup k médium

Hidden node se řeší tak, že stanice prvně vysílá request to send, AP mu odpovídá clear to send. Součástí requestu je i čas, na jak dlouho si stanice alokuje médium, aby zbylé stanice nemuseli pořád čúchat nosnou a mohli tak šetřit baterku.



### PCF

Point coordinated function - AP řídí přístup k médium -> contention free, bez kolizí

AP má seznam stanic. Pošle vždy jedné stanici povolení k odeslání jednoho frameu. Stanice buď odpoví nebo ne, AP osloví dalšího. Když projede všechny pošle Contention Free packet a provoz se změní z PCF na DCF.

## QoS ve wi-fi

Dle požadavků služby se přenosu přiděluje priorita (0-3). nejvyšší má stream hlasu, druhou obrazu.

Čím větší priorita, tím kratší Inter Frame Space -> tím větší pravděpodobnost, že začne vysílat jako první v contention window

## 15. Evoluční rozdíly mezi pokročilými standardy Wi-Fi sítí (802.11n, 802.11ac, 802.11ax), základní principy, základní vylepšení na fyzické a MAC vrstvě.

### 802.11n - 600 Mbit/s

#### Fyz. vrstva

Na 5 GHz se rozšířilo pásmo na 40 MHz

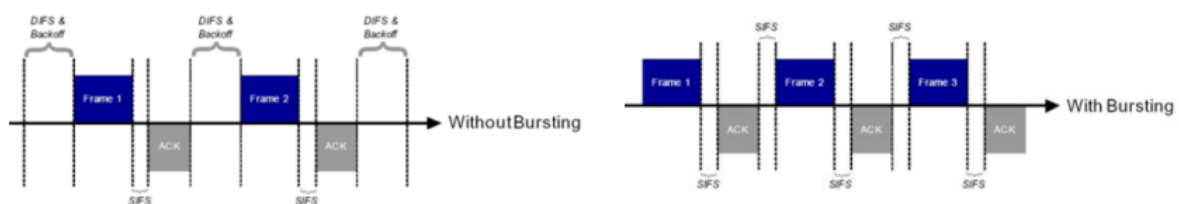
MIMO 4x4

Nějaký parity check

#### Mac vrstva

Frame aggregation - Víc frameů lze zabalit do jednoho mega frameu

Frame bursting -



### 802.11ac - 7 Gbit/s

#### Fyz. vrstva

MIMO 8x8

Beamforming - směřování paprsku směrem k zařízení

Šířka pásma až 160 MHz (5GHz, 2.4 GHz už nikoho nezajímá xD)

256 QAM (oproti 64 v n)

## MAC

Efektivnější frame aggregation

## 802.11ax - 10 Gbit/s

Zaměřuje se i na snížení energetické náročnosti

Přibývá nové pásmo (6 GHz)

Inspirace u LTE - médium dělené ve frekvenci (OFDMA) i čase na Resource Units, které jsou alokovány pro jednotlivé uživatele.

1024 QAM

Target Wake Time - klienti mohou mezi vysíláním spinkat, aby šetřili ty energie (Fialova vláda s tím nic nedělá, tak Wi-fi standard musí)

## 16. Autonomní komunikační systémy – požadavky na komunikační protokoly a technologie pro splnění požadavků, výpočet zpoždění/spolehlivosti systému, zvyšování spolehlivosti systémů

### Latency

- ▶ End-to-end (E2E) latency to deliver data
  - millisecond or lower

### Reliability

- ▶ Probability that a data of size D is successfully transferred within a time period T
  - Reliability of 99.99% or higher

### Availability

- ▶ Defined as the probability that a given service is available (coverage)
  - For instance, 99.99% availability means that one user among 10000 does not receive proper coverage

### Mobility

- ▶ Ensure latency, reliability, and availability for high mobility scenarios
  - Speeds up to 500 km/h



## Latency

- ▶  $t = t_{que} + t_{req} + t_{grant} + t_{data} + t_{ack} + N * t_{retransmission} + t_{comp}$ 
  - $t_{que}$  = Queuing
  - $t_{req}$  = Transmission of request to send data (usually in uplink)
  - $t_{grant}$  = Transmission of grant to send data (usually in uplink)
  - $t_{data}$  = Transmission of data
  - $t_{ack}$  = Transmission of acknowledgement
  - $t_{retransmission}$  = Retransmission incorporating  $t_{data} + t_{ack}$
  - $N$  = Number of retransmissions
  - $t_{comp}$  = Computing/processing of data (e.g., computing in cloud)

## Reliability

- ▶  $R = (1 - \epsilon_{sync})(1 - \epsilon_{req})(1 - \epsilon_{grant})(1 - \epsilon_{data})(1 - \epsilon_{ack})$ 
  - $\epsilon_{sync}$  = Probability of error in synchronization
  - $\epsilon_{req}$  = Probability of transmission request error (usually only uplink)
  - $\epsilon_{grant}$  = Probability of access grant reception error (usually only uplink)
  - $\epsilon_{data}$  = Probability of data transmission error
  - $\epsilon_{ack}$  = Probability of acknowledgement error

## 17. Protokoly pro komunikaci vozidel založené na standardech IEEE (802.11p, 802.11bd) – základní charakteristiky a vlastnosti komunikace, vlastnosti protokolů a jejich rozdíly (parametry fyzické a MAC vrstvy)

přenosové rychlosti jednotky až desítky Mbit/s

Modifikovaná wi-fi s nižším overheadem a nízkou latencí.

Šlape to na 5.9 GHz. Pásmo rozdělené na kontrolní kanál, čtyři servisní, jeden accident avoidance a jeden pro long range

Modulace max 64 QAM

Jsou tam nějaký masky pro zvýšení odolnosti proti interferenci

Na MAC vrstvě CSMA-CA, EDCF (viz wifi), není potřeba sestavit service set před zahájením komunikace

bd

až 256 QAM LDPC

funguje až do 500 km/h (oproti 200 v p)

## 18. Komunikace vozidel přes mobilní sítě (LTE V2X, NR V2X) – základní charakteristiky a vlastnosti komunikace, Device to Device (proximity services), komunikační módy

5.9 GHz, dělení ve frekvenci (OFDM) i čase na tzv. resource blocky (vychází z LTE), funguje do rychlosti 250 km/h, QPSK, 16QAM

NR V2X

až 256 QAM

Komunikace může být ve dvou módech kdy do toho buď kecá base stationa, nebo si povídají jako velcí kluci bez dozoru

Přenosové rychlosti podobně jako u té "wifiny"

## 19. LPWAN protokoly – základní vlastnosti, porovnání technologií, využití a aplikace

Cellular IoT (next lecture)

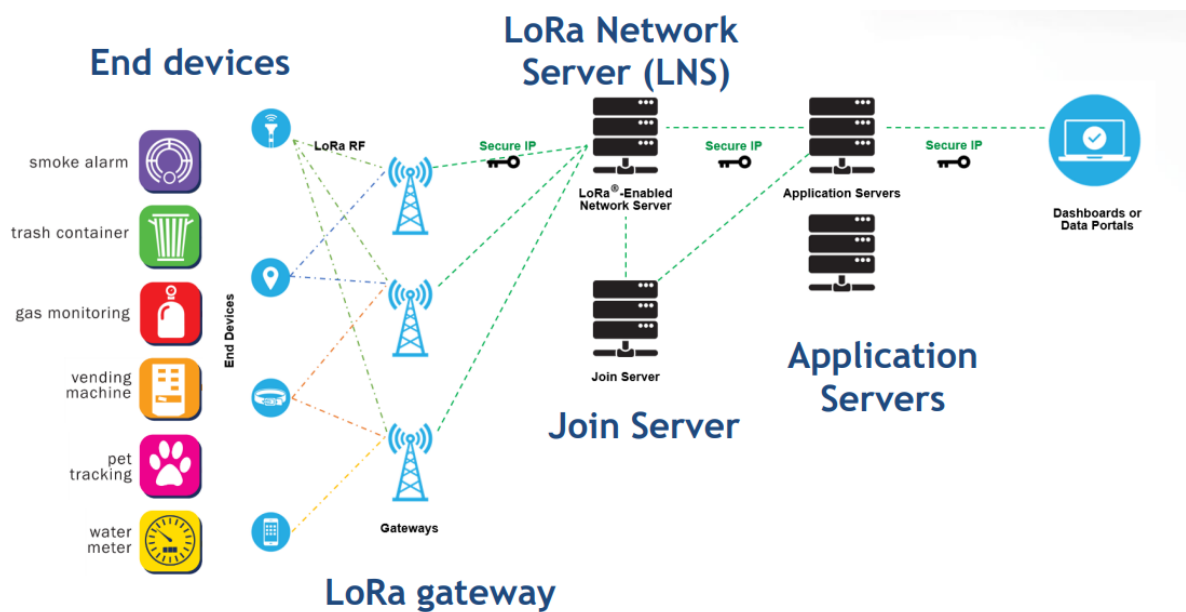
	Sigfox	LoRa	EC-GSM	Cat-1	Cat-0	eMTC	NB-IoT
Standardization	Private	Open	3GPP	3GPP	3GPP	3GPP	3GPP
Spectrum	Unlicensed	Unlicensed	Licensed	Licensed	Licensed	Licensed	Licensed
Channel BW	100Hz	7.8~500kHz	200kHz	1.4~20MHz	1.4~20MHz	1.4MHz	180KHz
System BW	100KHz	125kHz	1.4MHz	1.4~20MHz	1.4~20MHz	1.4MHz	180KHz
Peak Data Rate	UL:100bps DL:600bps	up to 21.9 kbps	DL: 74kbps UL:74kbps	DL:10Mbps UL:5Mbps	DL:2Mbps UL:1Mbps	DL:800kbps UL:1Mbps	DL:234.7kbps UL:204.8kbps
Max. number of Message per day	140(Device) 50000(BTS)	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Device Peak Tx Power	14dBm	16 dBm	33dBm	23dBm	23dBm	23dBm	23dBm
MCL(Maximum Coupling Loss)	UL:156dB DL: 147dB	157/165 dB	164dB	144dB	144dB	156dB	164dB
Device Power Consumption	Low	Low-Medium	Low	Medium	Medium	Low-Medium	Low

Velký dosah, malá spotřeba, nízké přenosové rychlosti, nízká cena

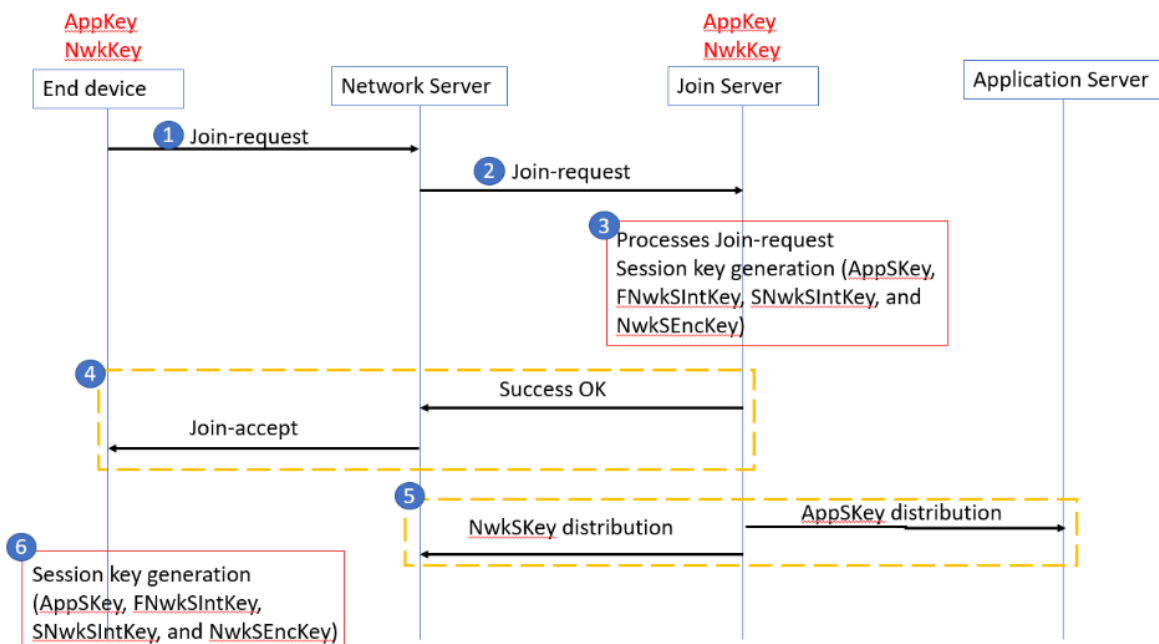
Využití hlavně v senzorových sítích

## 20. LoRa/LoRaWAN – základní vlastnosti, architektura, procedura připojení (join), přenos dat UL/DL

### Architektura



### Join



Zařízení posílá Join request obsahující identifikátor zařízení a aplikace, ke které se chce připojit. Network server to pošle join serveru. Pokud to join server nezmítne (to se stane například při duplicitním join requestu, protože to většinou znamená, že někdo poslouchá a chce se nabourat do sítě), tak pošle prostřednictvím network serveru zařízení join accept obsahující nějaké identifikátory. V dalším kroku pošle App a Network serveru session klíče. Zařízení si vygeneruje svůj session klíč z identifikátorů z join accept zprávy (nějaký AES-128 šifrování)

## Komunikace

### UL

Zařízení broadcastuje zprávu všem gatewayům. Network server je všechny počte a vybere jen tu s maximálním RSSI a pak jí posílá na aplikační server.

### DL

Aplikační server->Network server->Gateway s max RSSI z posledního uplinku -> zařízení

## 21. Fyzická vrstva LoRa – princip CCS, rozprostírání (spreading) a jeho vliv na přenosové rychlosti

(433) 868 MHz, 125 kHz šířka pásma

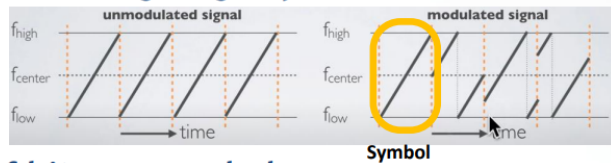
### CCS

Taková przněnina frekvenční modulace dohromady. Každý symbol je dán sweepem frekvence přes celé pásmo (těch 125 kHz). Podle toho, kde s tím sweepem začnu je určena hodnota symbolu. Spreading factor určuje, kolik bitů za symbol přenesu. Aby to ale pořád nějak šlapalo, tak se se spreading factorem protahuje délka symbolu (klesá sklon sweepu). Z toho paradoxně vychází, že pošlu víc bitů za symbol, ale celková rychlost přenosu klesá. Jelikož dyl (ano Vojto, napsal jsem to) vysílám, je větší spotřeba, ale stačí horší SNR, takže je větší dosah.

## Modulation

- Data encoded via frequency changes at the beginning of symbol

- Starting frequency of chirp
- $Bandwidth = f_{high} - f_{low}$



## Spreading Factor (SF) = Number of bits per symbol

- $2^{SF}$  values (steps, chips) per symbol

Symbol duration:  $T_s = \frac{2^{SF}}{BW}$

- SF increases → Symbol duration increases
- Bandwidth increases → Symbol duration decreases

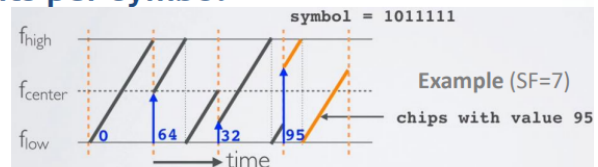
Symbol rate:  $R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{BW}{2^{SF}}$

Data rate:  $R_d = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR$

### Examples

BW=125 kHz, SF=7, CR=4/5 →  $R_d = 5460$  bps,  $T_s = 1.02$  ms

BW=125 kHz, SF=12, CR=4/5 →  $R_d = 290$  bps,  $T_s = 33.77$  ms

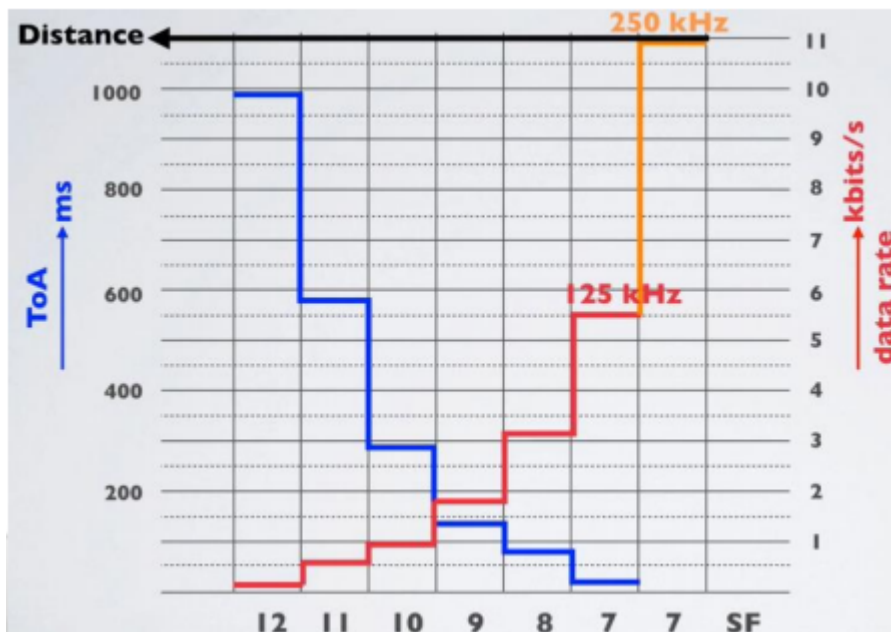


Robert Lie, "LoRa/LoRaWAN tutorial 13: Symbol, Spreading Factor and Chip,"  
<https://www.youtube.com/watch?v=DFCrN-u-Vpw>

- Number of bits/symbol *times* Symbol rate *times* code rate (CR)
- Code rate 4/5, 4/6, 4/7, 4/8 (Code rate index 1, 2, 3, 4, resp)

16

\*Radši sem dám i screen



Jinak paket má nějakou synchronizaci na začátku, data a crc (ne že by se na to v té otázce ptali)

Network server doporučuje zařízení jaký použít spreading factor (defaultně maximální) (ne že by se na to v té otázce ptali)

## 22. LoRaWAN třídy zařízení – rozdíly mezi třídami, princip komunikace

komunikace založená na Aloha protokolu

### Class A

dostupná pouze v krátkém intervalu po vlastním vysílání  
nízká spotřeba, vysoká latence

### Class B

Jako A + příjem možný v pravidelných intervalech (synchronizovány gatewayí pomocí beacon)  
Pravidelně sdílí svojí polohu\*  
vyšší spotřeba, nižší latence

### Class C

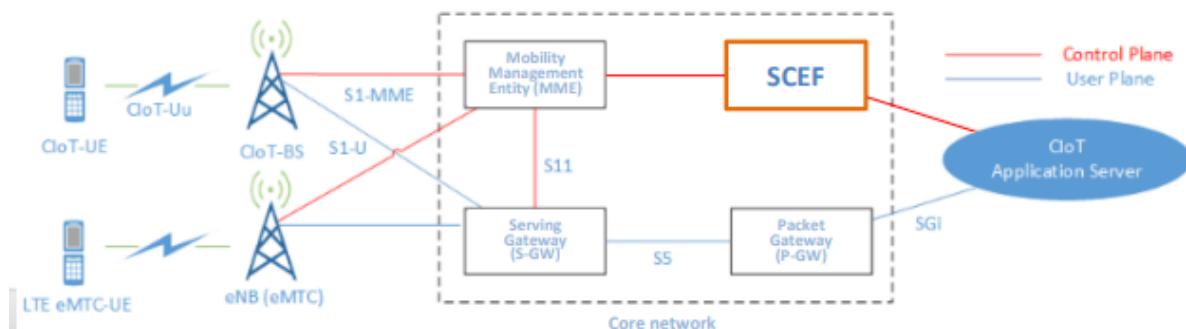
Jako A + jak ta stará bába od vedle, tzn. poslouchá pořád, pokud zrovna sama nekrafe  
Taky pravidelně sdílí polohu\*  
nejvyšší spotřeba, nejnižší latence  
\*sdílí polohu znamená, že něco pošle po uplinku a poloha se odhaduje podle RSSI na přijatých na gateway

## 23. IoT v mobilních sítích – základní vlastnosti EC-GSM-IoT, LTE-M/(fe)MTC, NB-IoT, porovnání technologií

	eMTC (LTE Cat M1)	NB-IOT	EC-GSM-IoT
Deployment	In-band LTE	In-band & Guard-band LTE, standalone	In-band GSM
Coverage*	155.7 dB	164 dB for standalone, FFS others	164 dB, with 33dBm power class 154 dB, with 23dBm power class
Downlink	OFDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo Code, 16 QAM, 1 Rx	OFDMA, 15 KHz tone spacing, TBCC, 1 Rx	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional), 1 Rx
Uplink	SC-FDMA, 15 KHz tone spacing Turbo code, 16 QAM	Single tone, 15 KHz and 3.75 KHz spacing SC-FDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo code	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional)
Bandwidth	1.08 MHz	180 KHz	200kHz per channel. Typical system bandwidth of 2.4MHz [smaller bandwidth down to 600 kHz being studied within Rel-13]
Peak rate (DL/UL)	1 Mbps for DL and UL	DL: ~250 kbps UL: ~250 for multi-tone, ~20 kbps for single tone	For DL and UL (using 4 timeslots): ~70 kbps (GMSK), ~240kbps (8PSK)
Duplexing	FD & HD (type B), FDD & TDD	HD (type B), FDD	HD, FDD
Power saving	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX
Power class	23 dBm, 20 dBm	23 dBm, 20 dBm, 14 dBm (Cat NB2, Rel 14)	33 dBm, 23 dBm

To asi říká všechno

## 24. Architektura mobilní sítě pro IoT – bloky a rozhraní a jejich funkce, účel a funkce bloku Service Capability Exposure Function



SCEF blok, který dělá rozhraní mezi sítí a aplikačním serverem pro předávání zpráv o dostupnosti uživatele, QoS, energy saving módech a tak

## 25. Fyzická vrstva pro NB-IoT – módy provozu (modes of operation) downlink/uplink, single/multi-tone, repetition

### Physical layer - Downlink

Similar as physical layer in LTE(-A-Pro,...)  
OFDMA multiplex

**Frame structure**

- ▶ 10 ms frame
  - 10 subframes
  - 20 slots
- ▶ Resource Unit (RU)
  - 180 kHz
    - 12 subcarriers with spacing of 15 kHz
  - 7 symbols
    - 500/7  $\mu$ s per symbol
  - eMTC: up to six RU for communication  $\rightarrow$  1.08 MHz
    - In theory:  $14\,000 \text{ (symbols/s)} \times 12 \text{ (subcarriers/RU)} \times 6 \text{ (RUs)} \times 4 \text{ (bits/symbols)} = 4 \text{ Mbps}$
    - In practice: reference signals, signaling, not always 16 QAM, errors, ...
  - NB-IoT: single RU for communication  $\rightarrow$  180 kHz
    - In theory:  $14\,000 \text{ (symbols/s)} \times 12 \text{ (subcarriers/RU)} \times 1 \text{ (RU)} \times 2 \text{ (bits/symbols)} = 336 \text{ kbps}$
    - In practice: reference signals, signaling, not always QPSK, errors, ...

15

### Physical layer - Uplink

SC-FDMA to reduce energy consumption

Frame of 10 ms as in LTE

- ▶ (fe)MTC - same format as in DL
- ▶ NB-IoT - different numerology of RU
  - Single-tone - higher power spectral density
    - Subcarrier spacing: 15 kHz and 3.75 kHz - single subcarrier
    - Slot duration: 0.5 ms and 2 ms - 8/32 ms per RU
  - Multi-tone - compatible with LTE
    - Subcarrier spacing: 15 kHz
    - 3, 6, 12 subcarriers over 4, 2, 1 ms, respectively, per RU

Subcarrier spacing	$N_{sc}$ per RU	Duration
$\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$	48	2 ms
$\Delta f = 15 \text{ kHz}$	12	0.5 ms

Uplink Multi Tone (same as LTE: )  
12x 15 kHz | 1 ms (same as NB-IoT-DL)

Uplink Multi Tone:  
6x 15 kHz | 2 ms

Uplink Multi Tone:  
3x 15 kHz | 4 ms

Uplink Single Tone:  
1x 15 kHz | 8 ms

Uplink Single Tone:  
1x 3.75 kHz | 32 ms

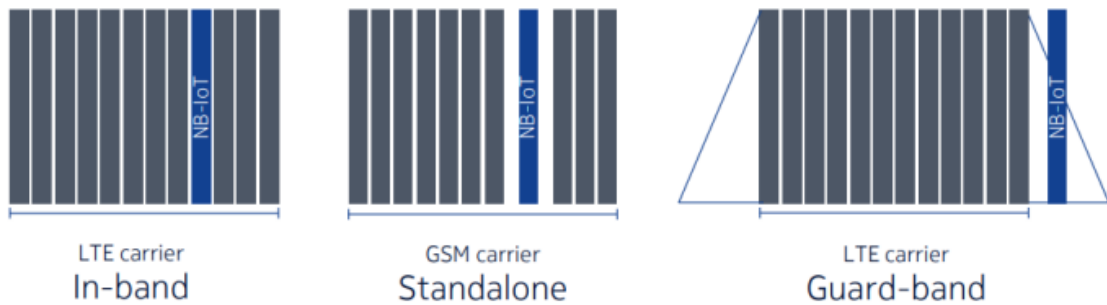
3GPP TS 36.211, "Physical channels and modulation", v15.5.0 March 2019.

16



## Modes of operation

- ▶ **In-band:** utilizing resource blocks within normal LTE carrier
  - NB-IoT and (fe)MTC
- ▶ **Standalone:** utilizing standalone carrier, e.g. spectrum currently used in GSM and replace one or more GSM carriers
  - NB-IoT
- ▶ **Guard band:** utilizing unused resource blocks within LTE carrier's guard-band
  - NB-IoT



NOKIA, "LTE evolution for IoT connectivity", whitepaper, 2

Single tone - Resource block je rozdělený po 15 kHz. V single tone jen v jedné 15 kHz subnosné

Při multi tone se zvýší bitrate, klesne spotřeba (vysílání netrvá tak dlouho), ale klesne dosah

Repetition - prostě se to posílá vícekrát a hádejte co... Zvýší se pravděpodobnost, že se to přijme

## 26. Metody úspory energie pro NB-IoT – (e)DRX, PSM, connected/idle state – princip a realizace

DRX zní hrozně cool, ale znamená to, že radio zapíná v pravidelných intervalech. eDRX je ten interval delší

V PSM se zařízení uspí úplně natvrdo (seems)