

Otázky k SZZ pro akademický rok 2018/19

1. Základní architektura AVR mikroprocesorů, rozdělení AVR mikroprocesorů, dostupné periférie, základy práce s registry – binární zápis, hexadecimální, bitový posun, nulování příznaku.

Architektúra AVR a dostupné periférie

- 8-bit microcontroller
- Modifikovaná harvardská architektúra
- RISC
- Integrovaná Flash pamäť
- Integrovaná SRAM
- Integrovaná EEPROM
- A/D prevodníky (10 alebo 12-bit)
- Vnútný RC oscilátor, vstupy pre externý oscilátor
- Sériové rozhranie USART, SPI a I2C
- 8 alebo 16 bit časovače
- PWM
- GPIO piny

Rozdelenie

- ATtiny
- ATmega
- ATxmega
- ...

Číslo v názve znamená veľkosť flash pamäte, napr. ATmega328p má 32kB

Binárny zápis - 0b01001011

Hex zápis - 0x4b

Bitový posun - $0x4b \ll 1$

Nulovanie príznaku - $0b01001011 \& 11111110 = 0b01001010$

Jednotlivé bity registrov majú svoje mená

PORT A Data Register

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
název bitu	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0
poč.hodnota	0	0	0	0	0	0	0	0

Takže vieme nastavovať príznaky aj pomocou bit shiftu: $PORTA |= (1 \ll PORTA2)$

IO porty

8-bit registre PORT A-G, každý port má asociované 3 registre

PORTn - slúži na uloženie výstupných hodnôt

DDRN - data direction register - zapísaním 1 nastavíme ako výstup, 0 ako vstup

PINn - sôúži pre načítanie hodnôt zo vstupných zariadení

2. Pamětní prostor mikroprocesoru AVR - FLASH paměť, SRAM paměť, EEPROM paměť.

AVR využíva harvardskú architektúru, takže je oddelená pamäť pre program a dáta.

Program je uložený vo flash (non-volatile), dáta sú v RAM (volatile). EEPROM je non-volatile pamäť kde si vieme ukladať napr. Config.

Flash

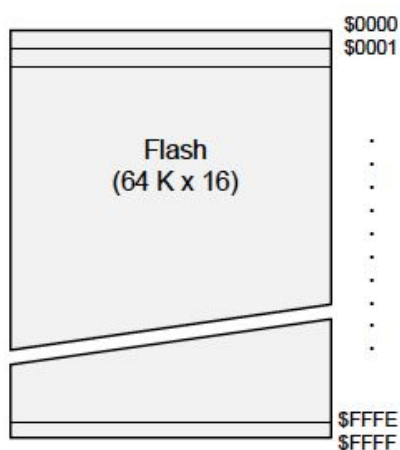
Veľkosť sa líši čip od čipu... 32 kB, 64 kB, 128 kB, ...

Keďže sú všetky AVR inštrukcie 16-bitové, programová pamäť je organizovaná po 16 bitoch. Pre flash pamäť zaručuje Atmel minimálne 10000 programovacích cyklov.

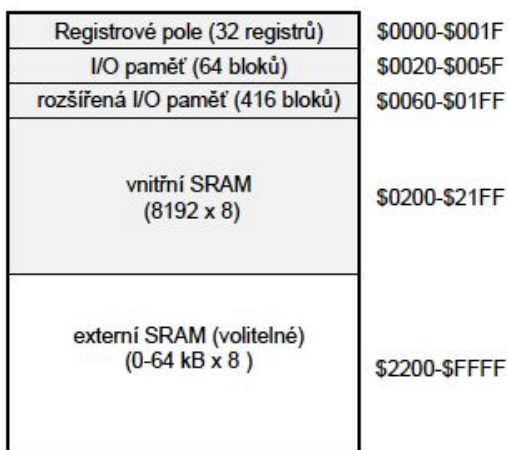
SRAM

Ukladajú sa premenné, proste RAMka, stack programu, halda, etc...

SRAM začína niekoľkými bajtami vyhradenými pre GPIO registre, ďalej bajty pre I/O pamäť, nejaké B pre externú I/O pamäť, ďalší blok 8 kB je vyhradený pre samotnú SRAM



(a) Adresování programové paměti



(b) Adresování datové paměti

Veľkosti SRAM sa pohybujú od 2 kB (ATmega 328) do 32 kB (ATxmega rada)

EEPROM (Electrically Erasable PROM)

Non volatile, je pomalšia na zápis a čítanie, ale zachováva dáta, takže je dobrá na uloženie konfigurácie, etc. ATmega1281 má 4 kB, ATmega328P má 1 kB, obmedzený počet zápisov, cca 10 000.

3. Sériový prenos dat. Sběrnice USART, parametry komunikace, parita, baudrate, asynchronní versus synchronní režim, přenosové rychlosti. Sběrnice SPI, základní charakteristika, propojení dvou SPI zařízení. Sběrnice I2C, základní charakteristika, adresování zařízení.

Synchronný vs. asynchronný režim

Synchronný režim znamená, že sa na synchronizáciu používa clock signál (SPI, I2C), u asynchrónneho módu sa používa start a stop bit (USART).

USART

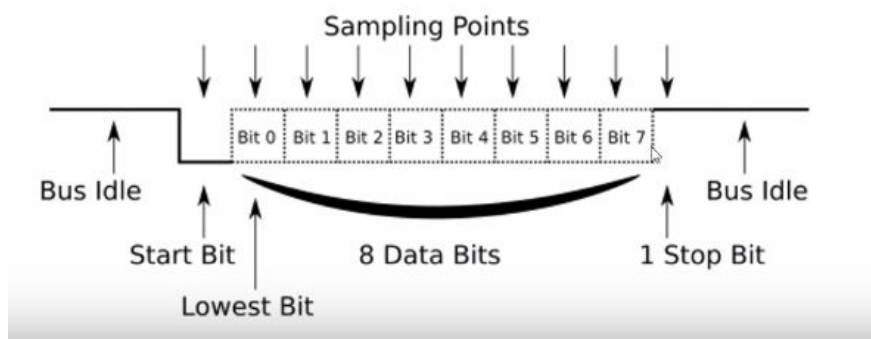
Sériové rozhranie, dáta sú posielané bit za bitom po jednom spoji. Používa dve linky, Rx a Tx. Full duplex. Je asynchronný, pre rozpoznanie štartu a konca vysielania používajú start a stop bity indikujúce začiatok a koniec rámca.

Komunikujú iba dve zariadenie. Rýchlosti, common 9600 - 115200 bps.

Parity bit

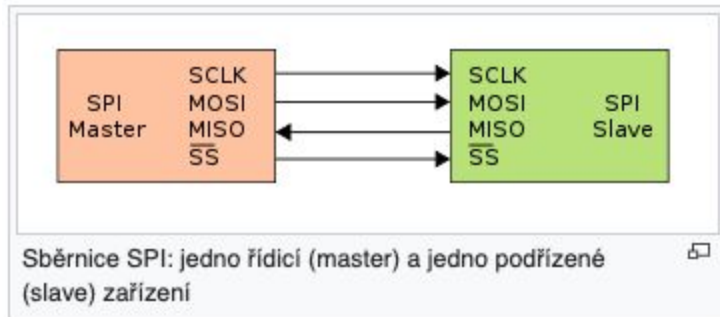
- Error checking
- Posledný bit prenášaných dát nahradím paritným bitom (nepošlem bajt ale 7 bitov + jeden paritný bit)
- Ak je to 1, znamená to že som preniesol párny počet jednotiek (vrátane parity bitu)
- Ak je to 0, znamená to že som preniesol nepárny počet jednotiek

UART with 8 Databits, 1 Stopbit and no Parity



SPI

Zbernica pre vysokorýchlostný prenos medzi mikrokontrolérom a perifériami. V prípade že druhá strana API nemá, dá sa nakonfigurovať USART do SPI módu. Je synchronný, používa sa clock signál. Má celkovo 3 vodiče, jeden dva dátové pre oba smery a jeden pre hodinový signál. Master-slave konfigurácia. Používa sa ešte slave-select pin na select zariadenie s ktorým idem komunikovať. Programovateľné rýchlosti až do 2MB/s. Full duplex.



SCLK - clock

MOSI - master out slave in

MISO - master in slave out

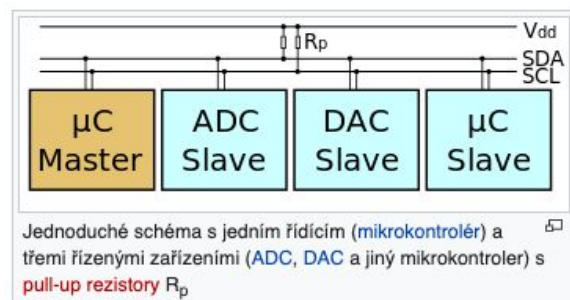
SS - slave select

Priebeh komunikácie

1. Najprv master selectne slave tak že nastaví SS na log. 0
2. Potom master začne enerovať clock signal
3. Prebieha výmena dát cez MOSI a MISO
4. Master ukončí komunikáciu takže prestane generovať clock signal a zdvihne SS na log. 1

I2C (TWI, Two Wire Interface)

Phillips Semiconductor. Dvojvodičová obojsmerná zbernica podporujúca až 128 zariadení dohromady. Každé zariadenie komunikujúce po zbernici má vlastnú adresu. Môže byť pripojených viacero masterov (MCUs) a vlacero slaves (senzorov, diplejov, etc.). Master generuje hodinový signál. SDA sa môže meniť iba ak je SCL v log. 0. Výnimkou je začiatok a koniec prenosu, kedy sa SCL najprv zdvihne

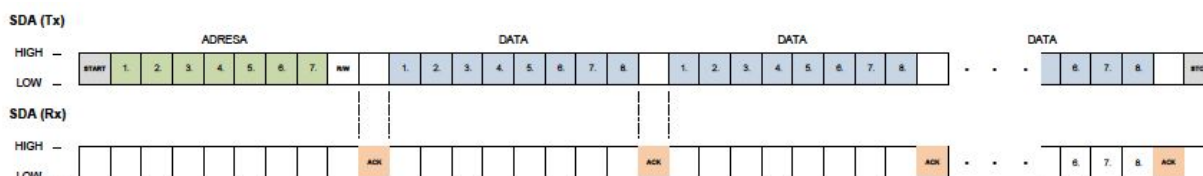


na 1 a potom sa indikuje cez SDL začiatok alebo koniec prenosu nástupnou alebo zostupnou hranou, tzn. že kontrolné dáta sa posielajú ak je SCL 1. Používajú sa ACK bity na indikáciu prijatých dát.

Priebeh:

1. Master najprv vyšle start bit
2. Potom vyšle 7b adresu
3. Potom vyšle R/W bit (1 read, 0 write)
4. Ak zariadenie rozpozná svoju adresu, posielá späť ACK bit.
5. Nasledujú 8b data rámce, každý potvrdený ACK bitom.

Adresa 0x00 je broadcast adresa.

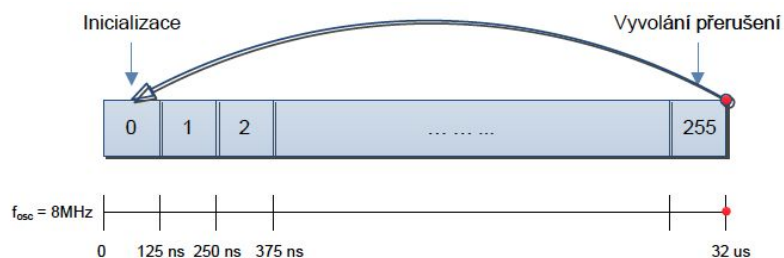


4. Princíp čítače s pretečením, princíp čítače s prerušením. Rozlišovací schopnosť čítačov. Pulsne šírková modulace, střída.

Odmeranie časového úseku sa realizuje napočítaním impulzov z časovača. AVR má 8bit (0-255) a 16bit (0-65535) časovače. Časovač je voľne bežiaci register (free running counter) a vlastnú hodnotu dokáže inkrementovať v intervale špecifikovanom užívateľom. Register zvyšuje svoju hodnotu každým prichádzajúcim impulzom. Vďaka tomu že časovač pracuje nezávisle na procesore, dokáže merať čas/frekvenciu s vysokou presnosťou. Časovače sa používajú aj na PWM.

Čítač s pretečením

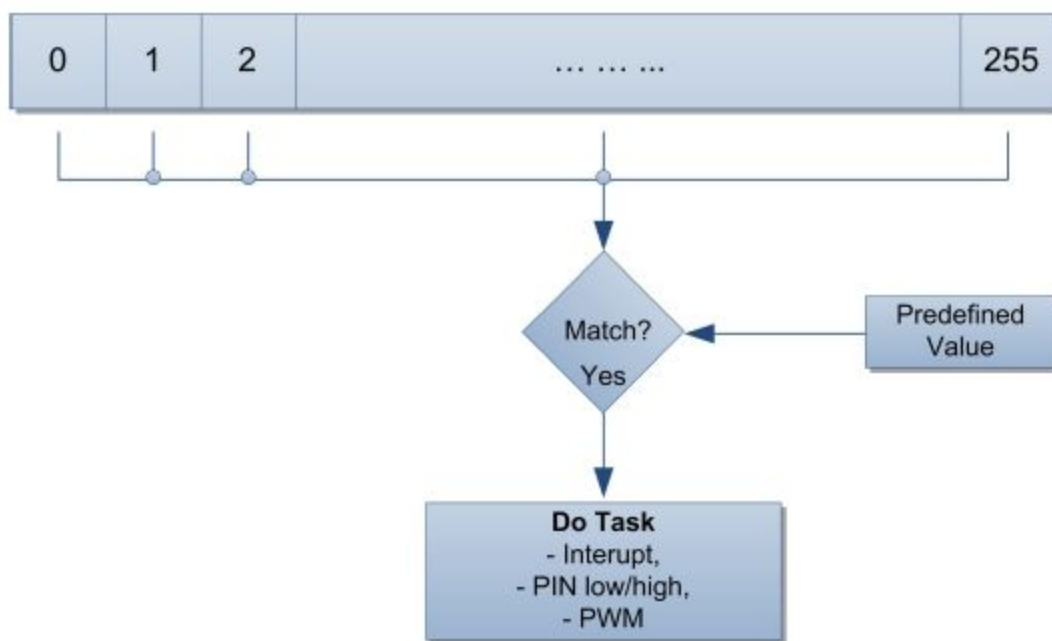
Založený na vyvolaní prerušenia v prípade, že obsah časového registra odpovedá jeho maximálnej kapacite. Prerušenie je vyvolané po pretečení. Potom začne register čítať impulzy odznova.



Ak je mikrokontrolér taktovaný an 8 MHz, tak jeden impulz trvá 125ns a register sa naplní každých 32 us. K spomalení čítania hodnôt sa používa preddelička.

Čítač s porovnaním

Umožňuje definovať vlastný interval pomocou komparátora. Voľne bežiaci čítač v každom cykle kontroluje vlastnú hodnotu s hodnotou uloženou v komparačnom registri a v prípade zhody oznámi túto udalosť prerušením. Potom sa čítač nuluje číta znova od nuly.

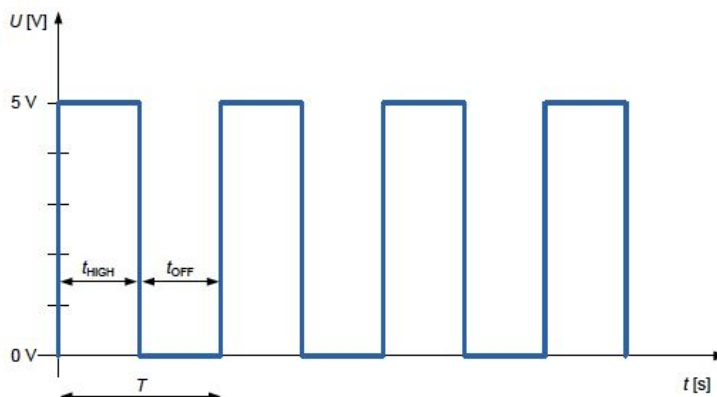


PWM (Pulse Width Modulation)

Časovače sa používajú ku generovaniu signálov s premennou úrovňou napätia.

Zníženie napätia sa dá dosiahnuť pulznou moduláciou (PWM). PWM slúži k modulovaniu striedy signálu, čo je percento času, v ktorom signál je v stave HIGH v pomere k dĺžke periódy signálu.

$$duty_cycle = \frac{t_{HIGH}}{T} \times 100\%$$



Rozlišovacia schopnosť časovača

Záleží na frekvencii časovača a použití predeličky. Vyššia frekvencia má vyššiu presnosť keďže sa impulzy generujú častejšie => prerušenie sa deje častejšie.

5. Rozdělení senzorů, princip senzoru teploty, popis negistoru, popis zapojení měřícího přípravku s negistorem . ADC převod-vzorkování, kvantování, kódování, kvantizační chyba. Princip AD převodníku s postupnou aproximací. Chybovost převodníku, chyba nastavení nuly, chyba zisku, integrální a diferenciální nelinearita.

ADC prevod

Vzorkovanie

- Zisťovanie úrovně analógového signálu v pravidelných intervaloch
- Spravidla $0 - U_{cc}$
- Nyquistov teorém - $f_{vz} \geq 2 * f_{sig}$ (ak vzorkujem signál v rozmedzí 20 Hz až 4 kHz tak musím vzorkovať s frekvenciou aspoň 8 kHz)

Kvantovanie

- Prevod vzorky ku kvantizačnej úrovni
- Počet úrovní závisí od ADC v mikrokontroléri, u atmelu je to 10/12 bitov (1024, 4096 úrovní)
- Rozlíšenie prevodníka sa dá vypočítať ako pomer rozdielu úrovní napätia a počtu kvantizačných hodnôt
- V prípade rozsahu napätia 0 - 3,3 V je rozlíšenie 10b prevodníka 3,22 mV
- U lineárneho kvantizátora je kvantizačná chyba +- polovica rozlíšenia (+- 1,61 mV)

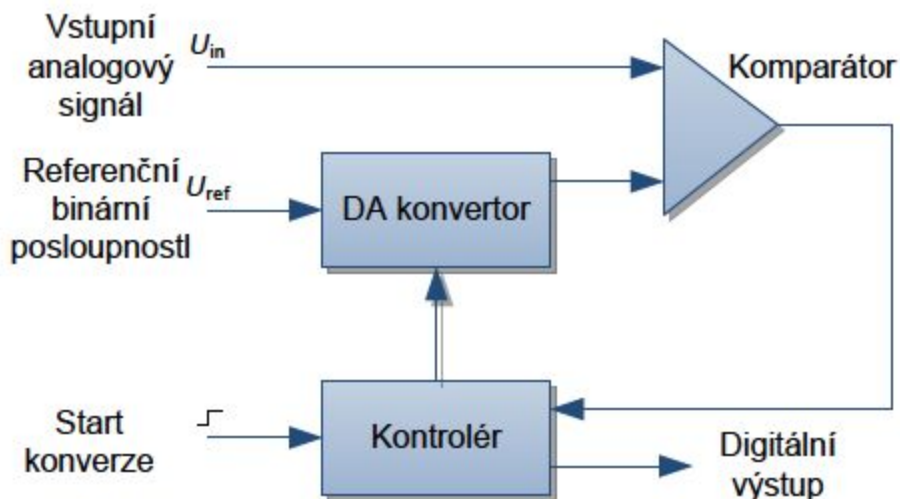
Kódovanie

- Vyjadrenie kvantizačnej úrovne v binárnej podobe
- Signál je reprezentovaný postupnosťou 10 bit d'hodnôt (u 10b ADC)

$$resolution = \frac{(U_{HIGH} - U_{LOW})}{2^b}$$

ADC převod s postupnou aproximací

Konkrétní implementace převodníka. Při této metodě je použitý DA konvertor, kontrolér a aproximátor.



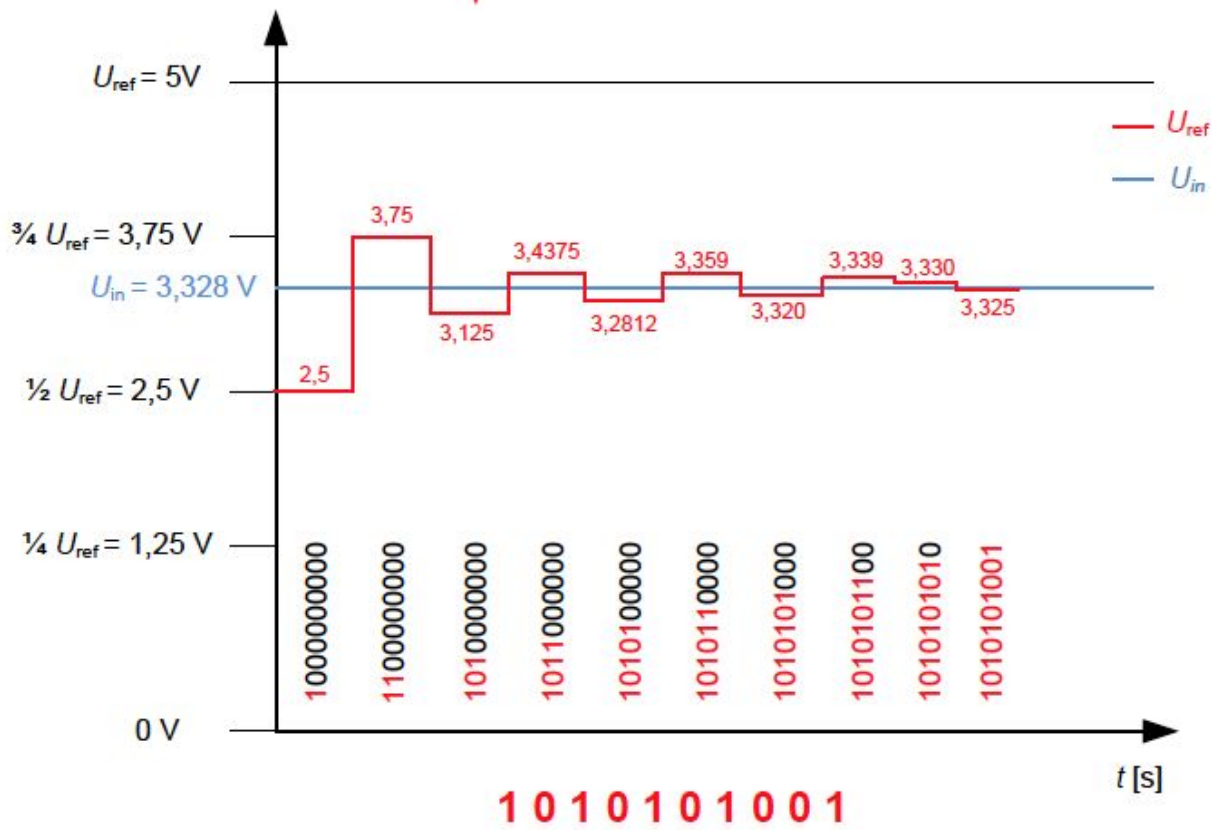
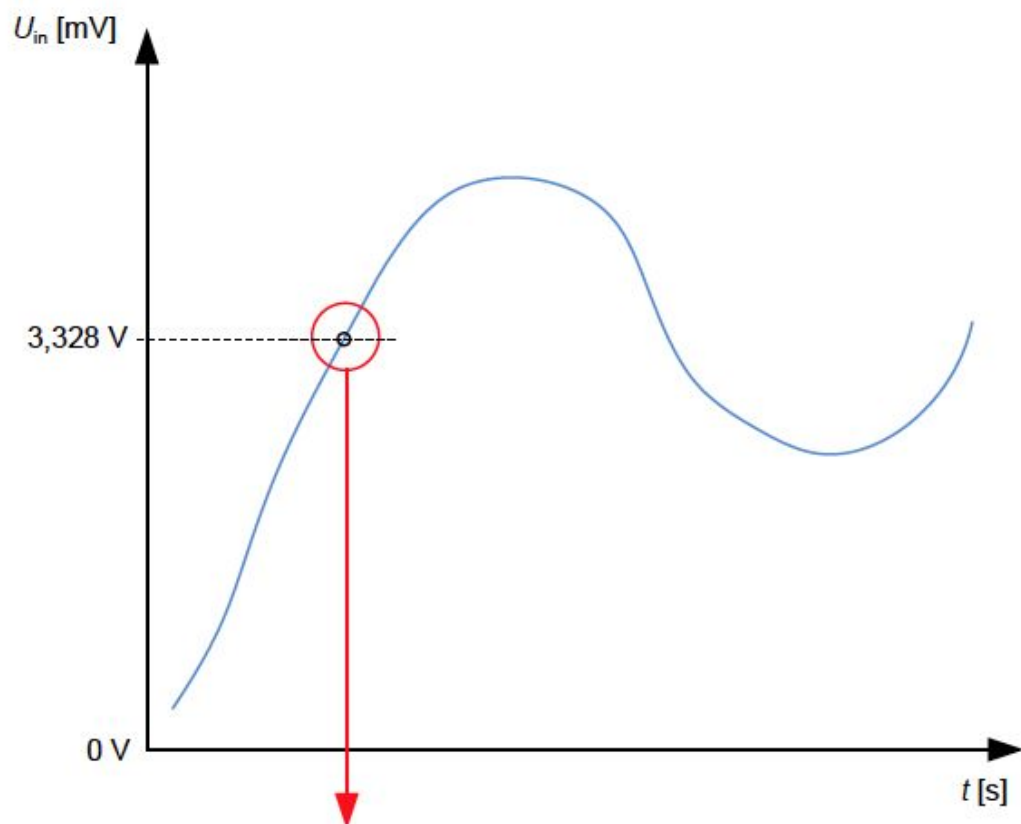
Na jeden vstup komparátoru je přiveden vstupní měřený analogový signál U_{in} a na druhý vstup je přiveden signál s referenčním napětím U_{in} . Celý proces převodu analogové hodnoty na digitální spočívá v porovnávání vstupního signálu s poměřovaným referenčním signálem. Počet porovnání je závislé na počtu bitů převodníku. Níže je uveden příklad převodu pro referenční napětí 5 V.

Na začátku převodu je společně se vstupním signálem na komparátor přivedena hodnota $1/2 U_{ref}$. V případě 10-bit převodníku je tato hodnota vyjádřena jako 1000000000. DA konvertor tedy nastaví na nejvýznamnější.m MSB bitu (Most Significant Bit) hodnotu 1, převede tuto digitální hodnotu na analogovou a porovná se vstupním napětím. Logická hodnota 1 pouze na MSB bitu tedy odpovídá hodnotě 512. V případě rozsahu $2^{10} = 1024$, odpovídá tato hodnota polovičnímu rozsahu napětí, pro rozsah 0 - 5 V je vygenerována hodnota referenčního napětí 2,5 V. Komparátor tedy porovná obě napěťové úrovně a pokud je vstupní signál větší než referenční signál ($U_{in} > U_{ref}$) kontrolér předá DA konvertoru logickou hodnotu 1 na prvním MSB. V opačném případě je na pozici MSB vygenerována hodnota 0. V dalším kroku je k nastavené logické úrovni na MSB bitu přidána logická 1 na druhý MSB bit a opět je provedeno porovnání vstupního signálu s novou referenční napěťovou úrovní. V případě, že je napěťová úroveň vstupního signálu větší než referenčního, ponechá se opět na druhém místě logická 1, jinak se nastaví logická 0. Tímto způsobem je porovnáno všech 10 bitů referenčního signálu. Po kontrole 10tého bitu je na výstupu kontroléru vyvedena posloupnost nastavených bitů. Tímto způsobem je proveden převod analogového

signálu na digitální pomocí postupné aproximace k nejbližší hodnotě. Na Obrázku 5.3 je znázorněn proces pro převod analogového signálu s napětovou úrovní 3,328 V. Výstupem převodu je binární hodnota 1010101001, která odpovídá hodnotě napětí 3,325 V. Chyba převodu je tedy 3 mV. V tabulce 5.1 jsou uvedeny průběžné výpočty převodu. Rozlišovací schopnost metody s postupnou aproximací je velmi vysoká, ovšem jeho přesnost je závislá na přesnosti DA převodníku.

Tabulka 5.1: převod hodnoty 3,325 na binární posloupnost pomocí postupné aproximace

Binární ref. hodnota	Decimální ref. hodnota	Poměrná ref. úroveň	Napětová ref. úroveň pro $U_{\text{ref}}=5\text{V}$
1000000000	512	0,5	2,5 V
1100000000	768	0,75	3,75 V
1010000000	640	0,625	3,125 V
1011000000	704	0,6875	3,4375 V
1010100000	672	0,65625	3,28125 V
1010110000	688	0,671875	3,359375 V
1010101000	680	0,6640625	3,3203125 V
1010101100	684	0,66796875	3,33984375 V
1010101010	682	0,666015625	3,330078125 V
1010101001	681	0,665039063	3,325195313 V



Chybovosť AD prevodníka

Chyba nastavenia nuly (Offset)

- Hodnota napätia vstupného signálu, pri ktorej je výstupná binárna hodnota prevodníka rovná nule
- V prípade že je výstup prevodníka 0 pri nenulovom napätí, je toto napätie označované ako chyba offsetu, alebo chyba nastavenia nuly

Chyba zisku (Gain Error)

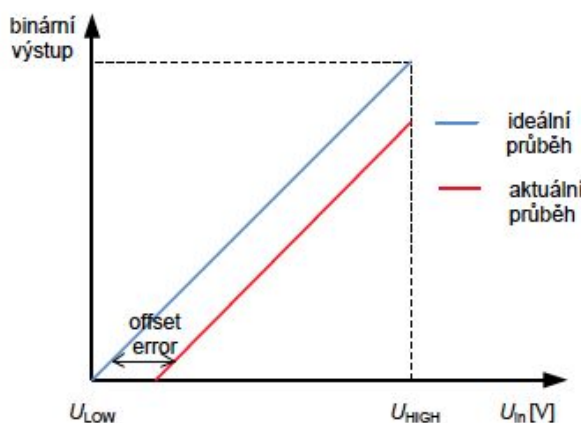
- Popisuje napäťový rozdiel posledného AD prevodu od ideálnej charakteristiky

Integrálna nelinearita (INL)

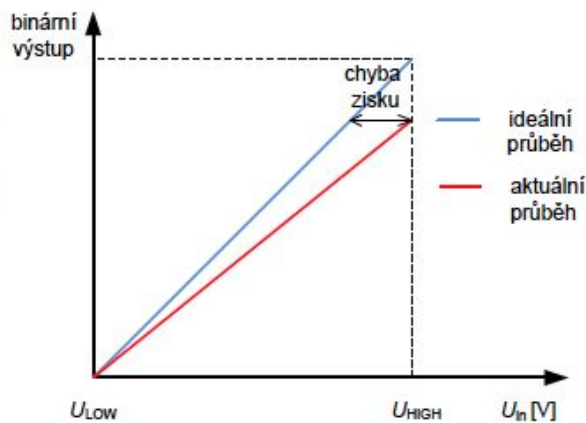
- Maximálny zaznamenaný rozdiel aktuálneho a ideálneho priebehu prevodu

Diferenciálna nelinearita (DNL)

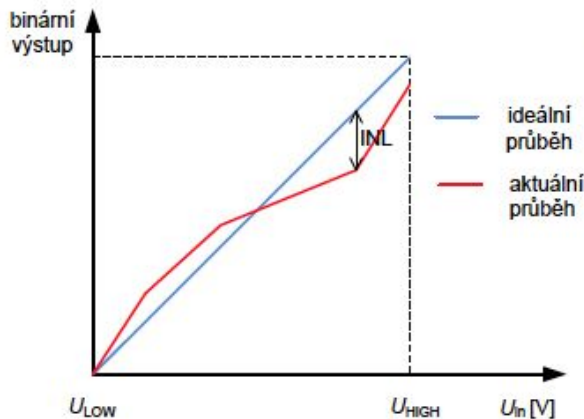
- Maximálny rozsah napätia v ktorom došlo k zmene binárnej hodnoty



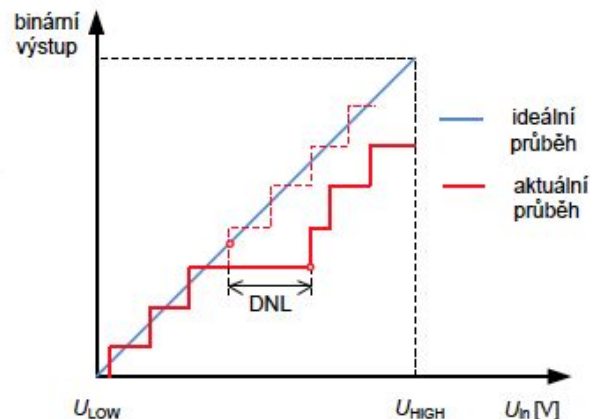
(a) Chyba nastavení nuly



(b) Chyba zisku



(c) Integrální nelinearita



(d) Diferenciální nelinearita

Rozdelenie senzorov

Senzor je zariadenie ktoré prevádza akýkoľvek druh energie na elektrickú.

Priame a komplexné senzory

- Priamy senzor konvertuje energiu priamo na elektrický signál (napr. termistor ktorý mení svoj odpor vzhľadom na teplotu)
- Komplexný senzor obsahuje priamy senzor a aspoň jeden prevodník (napr. chemický senzor ktorý najprv prevedie podnet na chemickú reakciu na tepelnú energiu a potom prevedie tepelnú energiu na elektrickú)

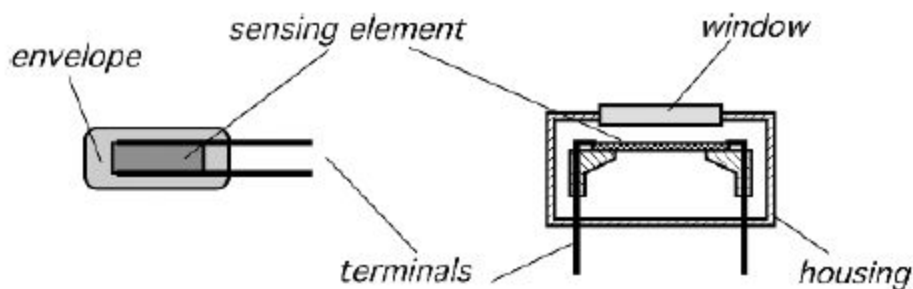
Aktívne a pasívne senzory

- U pasívneho senzoru je nutné elektrickú veličinu odpor, kapacita, indukčnosť ďalej previesť na prúdový signál (termistor), väčšina pasívnych senzorov sú priame senzory
- U aktívneho senzoru sa samotný senzor stáva zdrojom elektrického signálu (fotodióda)

Absolútne a relatívne senzory

- Absolútne merajú veličinu vzhľadom k určitej absolútnej hodnote, ako u teplotných senzorov napr. voči 0°C (termistor)
- Termočlánok napr. generuje elektrický prúd ako reakciu na zmenu teploty, čiže reaguje na zmenu meranej veličiny

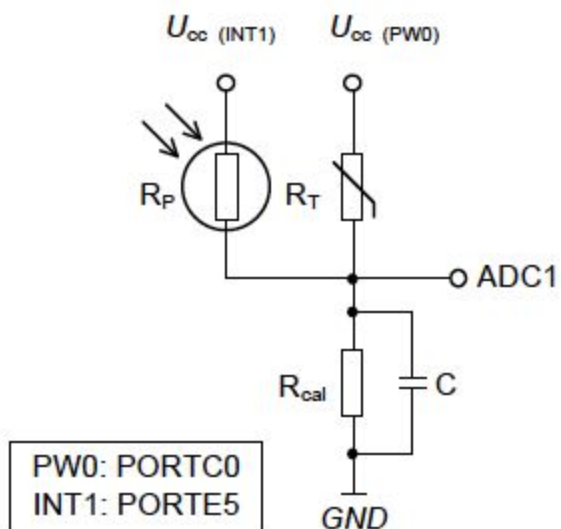
Senzory teploty



Skladá sa zo snímacieho elementu, kontaktov a obalu. Snímací element je zodpovedný za zmenu jeho vlastnej teploty z pôvodnej na snímanú, vhodný materiál pre snímací element a obal má vysokú tepelnú vodivosť a citlivosť. Môže byť kotaktný a bezkontaktný.

Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient, **Negistor**)

Je prvok ktorého elektrický odpor klesá s rastúcou teplotou - má negatívny teplotný koeficient. Závislosť medzi odporom a teplotou je nelineárna funkcia.



Teplota (°C)	Odpor [Ω]	Hodnota napětí na ADC1 [% U_{cc}]
-40	239800	4%
-20	78910	11%
0	29940	25%
25	10000	50%
40	5592	64%
60	2760	78%
70	1990	83%

6. Princíp šírenia rádiového signálu prostredím, výkonová úroveň prijatého signálu a jej závislosť na vzdialenosti, popis logaritmického útlumového modelu, prevod dBm na mW, vliv frekvence na výkonovou úroveň signálu, zisk antény, čtvrtvlnné antény.

Elektromagnetické vlny. Pri použití všesmerovej antény klesá intenzita vyžarovaného signálu s kvadrátom vzdialenosti (inverse square law).

$$P_r(d) = \frac{P_t}{d^2}$$

Výkonová úroveň je vzťahovaná k výkonu 1 mW, potom používame jednotku dBm. V dBm je výkonová úroveň určená ako logaritmický pomer prijatého výkonu P_r [W] vzhľadom k referenčnej hodnote 1 mW, preto je základnou veličinou výkonovej úrovne decibel miliwatt - **dBm**.

$$P_r[\text{dBm}] = 10 \times \log_{10} \frac{P_r[\text{W}]}{P_t[\text{W}]}$$

Výkonová úroveň 0 dBm potom odpovedá pomeru $P_r/P_t = 1$, výkon je teda $P_r = 1$ mW.

P [dBm]	P [mW]
+20 dBm	100 mW
+10 dBm	10 mW
+6 dBm	4 mW
+3 dBm	2 mW
+1 dBm	1.259 mW
0 dBm	1 mW
-1 dBm	1/1.259 mW
-3 dBm	1/2=0.5 mW
-6 dBm	1/4=0.25 mW
-10 dBm	1/10=0.1 mW
-20 dBm	1/100=0.01 mW

Prepočet z dBm na mW

$$P_r[W] = P_t \times 10^{P_r[\text{dBm}]/10}$$

Logaritmický útlmový model

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 10\eta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

Dá sa využiť pre odhad komunikačnej vzdialenosti na základe výkonovej úrovne prijatého signálu šíreným reálnym rádiovým prostredím. Úroveň prijatého signálu $P_r(d)$ vo vzdialenosti d je závislá na

1. Úrovni signálu $P_r(d_0)$ v referenčnej vzdialenosti d_0
2. Pomere koncovej a referenčnej vzdialenosti
3. Na útlmovom činiteli
4. Na parametri X ktorý je náhodná premenná s rozptylom σ ktorá v podstate predstavuje predom neznámy útlm signálu vzniknutý prechodom prekážok, odrazom, difrakciou, či ohýbaním

Hodnota η	Prostředí
1,6 - 1,8	Uvnitř budovy, přímá viditelnost
1,8	Obchod s potravinami
2,0	Volný prostor
2,09	Konferenční místnost se židlemi a stoly (15 m x 7,6 m)
2,7 - 4,3	Uvnitř budovy, bez přímé viditelnosti

Vplyv frekvencie na výkonovú úroveň signálu

Vyššia frekvencia má vyšší výkon? V skriptách to není.

Zisk antény

Uvádza sa väčšinou pre smerové antény a a užívateľovi vraví, koľkokrát vyšší výkon v najsilnejšom smere radiácie má smerová anténa oproti anténe všesmerovej. Jednotka dBi (i - isotropic). Ideálna izotropická anténa vyžaruje vo všetkých smeroch rovnakým výkonom. Zisk nie je vzťahovaný len k prijímu ale aj vysielaniu. Ak má anténa zisk $G = 3$ dBi tak bude sila prijatého alebo odoslaného signálu v najsilnejšom smere radiácie o 3 dB viac ako pri všesmerovej anténe.

Štvrtvlnné antény

Dipólová a monopólová anténa. Najčastejšie používané antény v bezdrôtových sieťach. Monopólová anténa je zložená z dvoch drôtov, pričom každý drôt má dĺžku odpovedajúcu štvrtine vlnovej dĺžky $\lambda/4$. U dipólovej je celková dĺžka antény $\lambda/2$.

7. Standard IEEE 802.15. a jeho rozdelení. Definice fyzické vrstvy dle IEEE 802.15.4, použitá frekvenční pásma, modulace, přenosové rychlosti. Problematika koexistence standardu IEEE 802.15.4 s ostatními bezdrátovými technologiemi. Detekce energie na kanále, parametr RSSI, parametr LQI, formát rámce na fyzické vrstvě IEEE 802.15.4

WPAN technológie sú definované štandardom IEEE 802.15. Práca na definícii štandardov je rozdelená medzi 6 pracovných skupín 802.15.1 až 802.15.7.

802.15.1

- Bluetooth

802.15.2

- rieši koexistenciu WPAN s ostatnými technológiami (prevažne 802.11 - wifi)

802.15.3 a 802.15.4

- Špecifikuje parametre fyzickej (PHY) a linkovej (MAC) vrstvy pre bezdrôtové zariadenia s krátkym dosahom a zameraním na nízku spotrebu
- 802.15.3 - **High Rate** WPAN (11-55 Mbps)
- 802.15.4 - **Low Rate** WPAN (pomalé, low energy)

802.15.5

- Špecifikuje technológie umožňujúce čiastočnú a plnú mesh komunikáciu

802.15.7

- Má na starosti návrh štandardov pre zariadenia komunikujúce pomocou technológie **VLC** (Visible Light Communication)

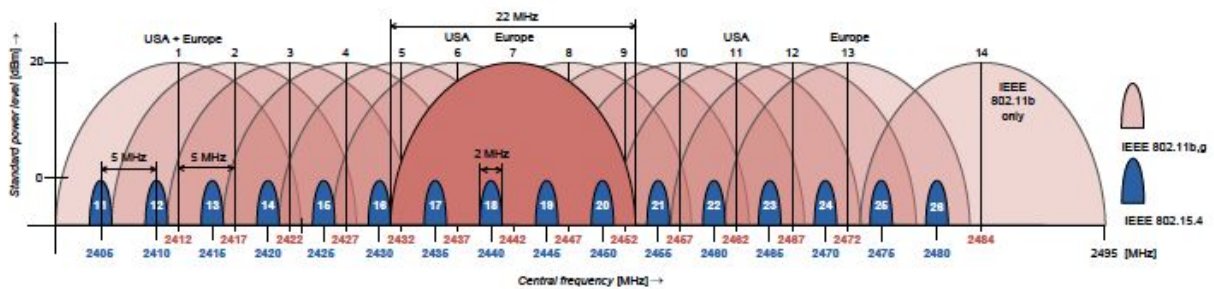
Definícia fyzickej vrstvy podľa 802.15.4

Fyzická vrstva má na starosti

- Vypnutie a zapnutie rádiového prijímača
- Prenos a príjem dát
- Výber frekvenčného kanálu
- Detekciu energie na kanále (energy detection, carrier sense?)
- Zistenie voľného kanálu (Clear Channel Assessment)
- Zistenie kvality prijímaných dát pomocou LQI parametre (Link Quality Indication)

Tabulka 7.4: Frekvenční kanály a modulace dle IEEE 802.15.4 b,c

Číslo kanálu	Frekvence a modulace	Přenosová rychlost	Země
0	868 MHz (BPSK)	20 kbps	EU
1-10	915 MHz (BPSK)	40 kbps	US
11-26	2.4 GHz (O-QPSK)	250 kbps	Celosvětově
128-131	780 MHz (OQPSK)	250 kbps	Čína
	950 MHz (OQPSK)	250 kbps	Japonsko



WPAN zdieľa u kanálov 11-26 2,4 GHz pásmo s 802.11 (wifi). Pre 802.11 v európe bolo vydané doporučenie používať len kanály 1, 7 a 13, z čoho vyplýva, že jediné voľné kanály u WPAN ktoré by sa nemali kryť s WiFi sú 15, 16, 21 a 22. Takto sa teoreticky minimalizuje prekrytie týchto štandardov, ale v realite je to aj tak bordel a prekryvanie je stále problém. Šírka WPAN kanálu býva 600 kHz.

RSSI

Hodnota indikujúca úroveň prijatého výkonu na kanále. Jednotka je dBm. Zvykne byť uložená v status registri rádiového čipu, alebo za prijatým paketom (CC1101).

Detekcia energie na kanále

Slúži na zamedzení vzniku kolízií pri vysielaní viacerých zariadení v rádiovom dosahu. IEEE 802.15.4 definuje využitie prístup. metódy CSMA-CA (collision avoidance). Meria sa energia na kanále. Podľa toho device vie, či môže vyselať, alebo má počkať kým sa neuvoľní kanál. V prípade že je rozdiel medzi detekovanou energiou a citlivosťou prijímača väčší ako stanovená hranica (40 dBm u AT86RF230), oznamuje sa linkovej vrstve že je kanál obsadený.

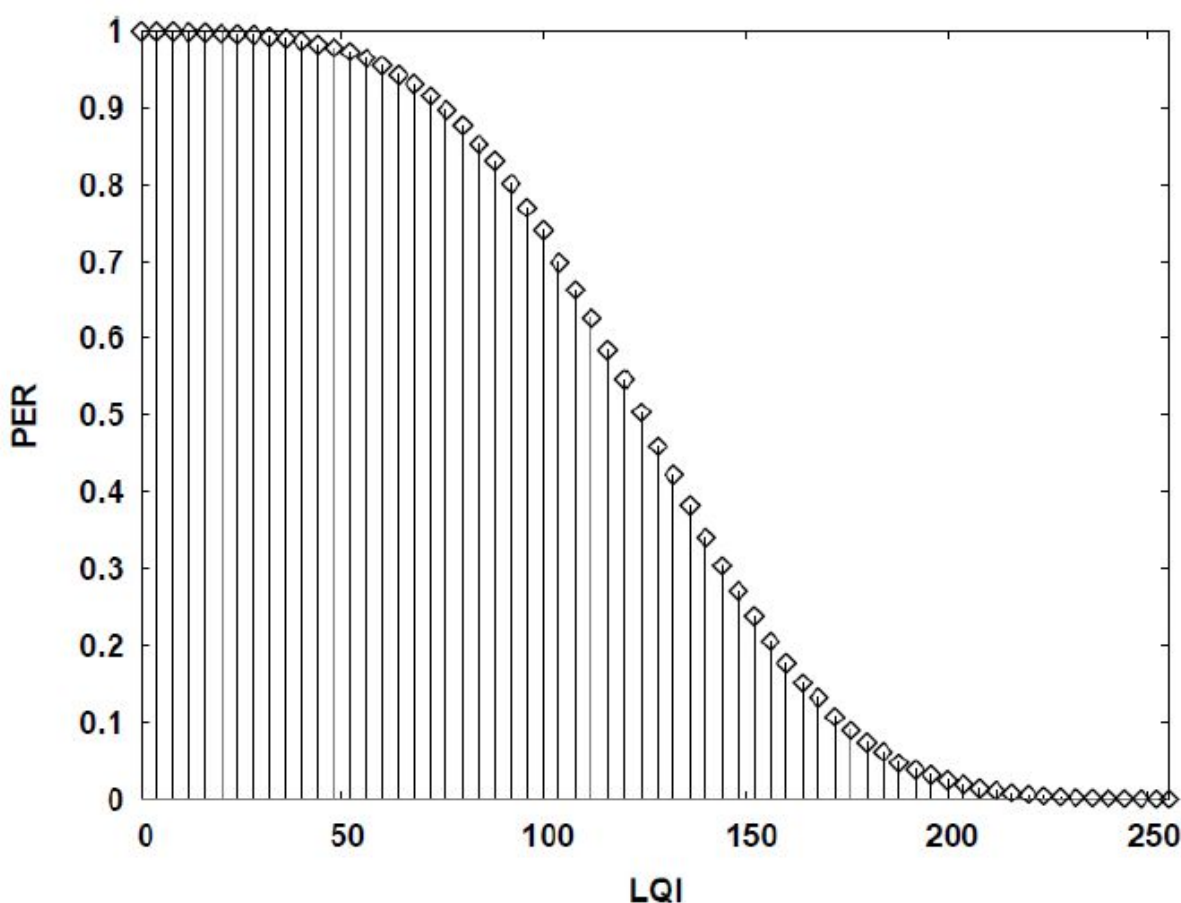
IEEE 802.15.4 definuje 3 modely pre rozhodnutie o obsadenosti kanálu (CCA - Clear Channel Assessment)

1. CCA Mode 1 - iba energy detection (citlivosť +40 dBm)

2. CCA Mode 2 - detekcia nosnej, rozhoduje sa o obsadenosti detekovaním nosného signálu (ak sa detekuje signál ktorý bol vysielaný a rozprestrený rovnakými technikami ako na prijímacej strane, v prípade 802.15.4 to môže byť BPSK a O-QPSK spoločne s metódou rozprestreného spektra DSSS)
3. CCA Mode 3 - kombinácia predchádzajúcich dvoch módov

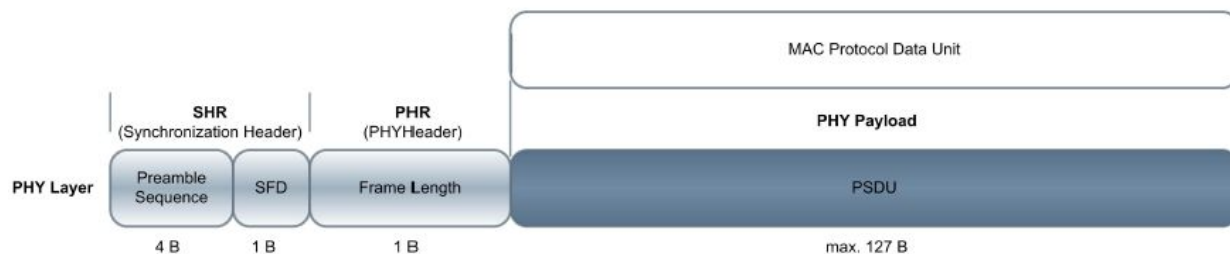
LQI (Link Quality Indicator)

Metrika pre určenie kvality bezdrôtového spoja. Nabýva hodnoty 0 - 255. 0 je najmenšia kvalita a 255 je najvyššia kvalita linky. Hodnotu LQI môžeme interpretovať ako chybovosť prijímaných dát (PER - packet error ratio). PER = 1 - ani jeden paket nebol prijatý správne.



Hodnota LQI sa určuje vždy až po úplnom prijatí rámca a skontrolovaní integrity cez CRC. LQI sa používa napr. u ZigBee protokolu k nájdení najspoľahlivejšej cesty medzi dvoma bezdrôtovými jednotkami.

Formát rámca na fyzickej vrstve 802.15.4



Max veľkosť synchronizačnej hlavičky (**SHR** - Synchronization Header) je 6B a max veľkosť payloadu je 127 B.

SHR začína 4B preambulou vyplnenou nulami, za ňou nasleduje SFD (Start of Frame Delimiter) s konštantou 0xA7. Potom nasleduje byte označujúci dĺžku payloadu v bajtoch (používa sa iba 7 bitov, keďže max dĺžka payloadu je 127 B).

Payload sa potom predáva linkovej vrstve.

8. Definície linkovej vrstvy dle IEEE 802.15.4 , formát rámce, štruktúra superrámce, typy zariadení, mezirámcové intervaly, synchronizovaná a nesynchronizovaná metóda CSMA/CA.

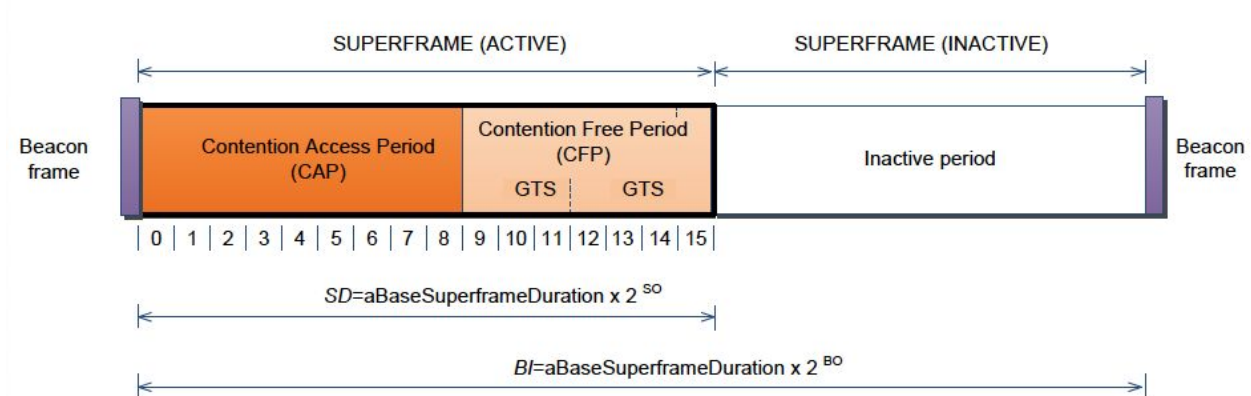
Linková vrstva je označovaná ako MAC (Media Access Control), je zodpovedná za

- Definícia typu zariadenia (RFD/FFD)
 - 802.15.4 definuje dve typy zariadení - **FFD** (Fully Function Device) a **RFD** (Reduced Function Device)
 - **FFD** môže slúžiť ako PAN-C (koordinátor siete), Router, alebo ED (End Device). Smerovač je schopný smerovať dáta k iným prvkom siete. Koordinátor siete riadi celú sieť a má jedinečnú adresu 0x00 a väčšinou funguje ako brána do iných sietí.
 - **RFD** je komunikačné a senzorické zariadenie ktoré nedisponuje funkciou smerovania dát
- Adresovanie zariadení
 - Každé zariadenie má unikátnu adresu ktorá sa dá nakonfigurovať alebo je pridelená koordinátorom siete
 - 802.15.4 definuje základný 16bit formát adresy alebo rozšírený 64b formát
- Definícia topológie (hviezda alebo peer-to-peer)
- Generovanie beacon rámcov v prípade že je device koordinátor siete
- Synchronizácia zariadení podľa hodnôt v beacon rámci

- Vyhradzovanie časových intervalov pre komunikácie (GTS - Guarantee Time Slots)
- Vkladanie medzirámcových intervalov
- Vykonávanie CSMA-CA
- Asociovanie zariadení do siete a ich odpájanie

Superrámec

Koordinátor môže synchronizovať sieť zasielaním Beacon rámcov. Interval beacon rámcov definuje dobu trvania jedného Superrámca (Superframe). Superrámec sa delí na viacero častí, ktoré definujú, kedy môže zariadenie vysielat a kedy má byť neaktívne (vypnuté radio, sleep mode). Superrámec je teda **časový okamžik ohraničený dvoma Beacon rámcami**.



Superrámec je rozdelený do troch časových intervalov.

CAP (Contention Access Period) - po túto dobu môžu zariadenia voľne vysielat za použitia CSMA-CA

CFP (Contention Free Period) - v tomto intervale sa nesúperi o médium, tento interval je rozdelený do garantovaných časových slotov **GTS (Guaranteed Time Slots)** pre tie zariadenia, ktoré si o vyhradené časy zažiadali u koordinátora. Počet GTS intervalov je obmedzený na 7 a každý GTS môže obsadzovať ľubovoľný počet time slotov.

Inactive period - tu sa nevysiela, vypnuté radio

CAP a **CFP** majú dĺžku dokopy 16 časových slotov premennej dĺžky. Dĺžka slotov závisí na dĺžke trvania aktívnej doby superrámca.

Po zapnutí si zariadenie vyžiada beacon rámec od koordinátora. V beacon rámcoch sú prenášané hodnoty podľa ktorých si zariadenia vypočítajú kedy končí aktívna doba (prejsť do režimu spánku) a kedy sa zas majú prebudiť pre prijatie ďalšieho beacon rámca.

BI - beacon interval - interval prenášania beacon rámcu

SD (superframe duration) - doba trvania aktívnej časti superrámca

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO}$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO}$$

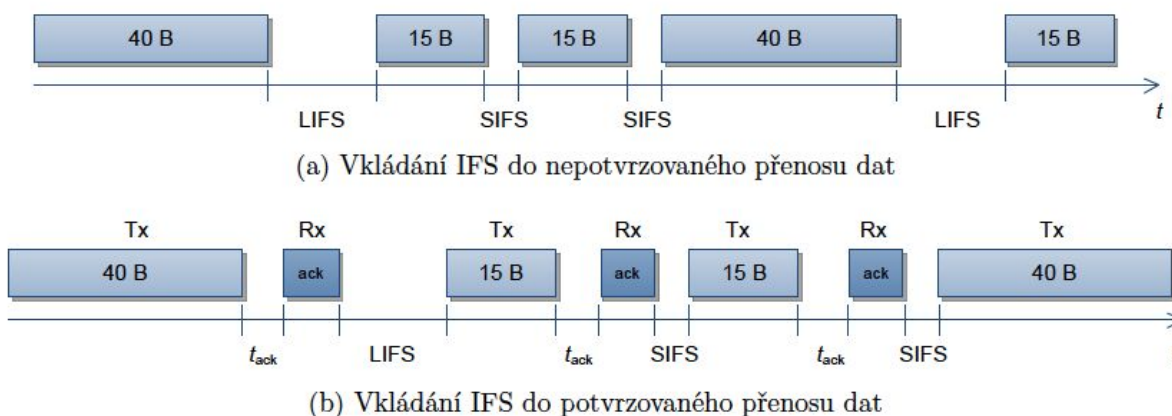
BO a **SO** sú prenášané v beacon rámcu.

aBaseSuperframeDuration je definované štandardom ako doba trvania 960 symbolov, jeden symbol obsahuje 4 bity. Pri prenosovej rýchlosti 250 kbps je to 15,36 ms

Tabulka 8.1: Doba trvania superrámce pro různá BO

BO	0	1	2	3	4	5	6	7
BI=SD	15,36 ms	30,72 ms	61,44 ms	122,88 ms	245,76 ms	491,52 ms	983,04 ms	1,966 s
BO	8	9	10	11	12	13	14	
BI=SD		3,93 s	7,86 s	15,72 s	31,45 s	62,91s	125,82 s	251,65 s

Medzirámkové intervaly



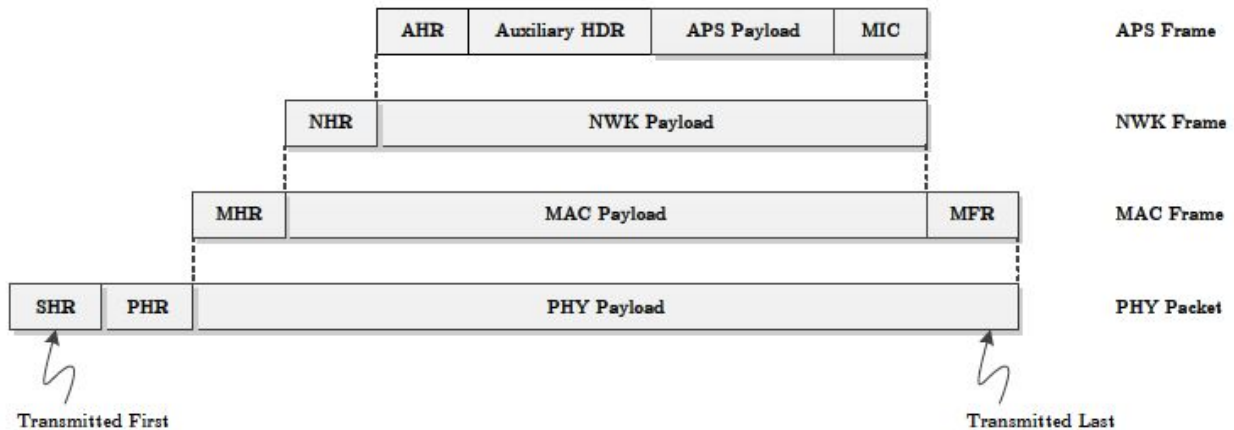
Medzirámkové intervaly sú vkladane za každým prenosom z dôvodu zohľadnenia delaye na fyzickej vrstve. Po dobu ich trvania nie je možné zahájiť komunikáciu. Ak je prenesených viac ako 18 B, vkladá sa LIFS (Long Inter Frame Spacing) dlhý 40 symbolov, ináč sa vkladá SIFS (Short Inter Frame Spacing) dlhý 12 symbolov. Ak sa používa acknowledgement rámcov tak je medzirámkový interval vložený až po prijatí potvrdenia.

CSMA-CA

Základnou metódou prístupu na médium u 802.15.4 je detekcia nosnej v kombinácii s CSMA-CA. Používajú FFD aj RFD typy zariadení.

Existujú tu dva režimy CSMA-CA. **Zarovnaná metóda CSMA-CA** (Slotted CSMA-CA) sa používa v synchornizaovanej sieti. Je spúšťaná v definovaných backoff slotoch vnútri jedného zo 16 časových slotov aktívnej doby superrámca. **Nezarovnaná metóda CSMA-CA** sa používa v nesynchronizovanej sieti a môže sa spustiť hocikedy.

Štruktúra MAC rámca



IEEE 802.15.4 definuje na linkovej vrstve 4 typy správ

- Beacon rámec
- Dátový rámec
- Príkazový rámec
- Potvrdzovací rámec

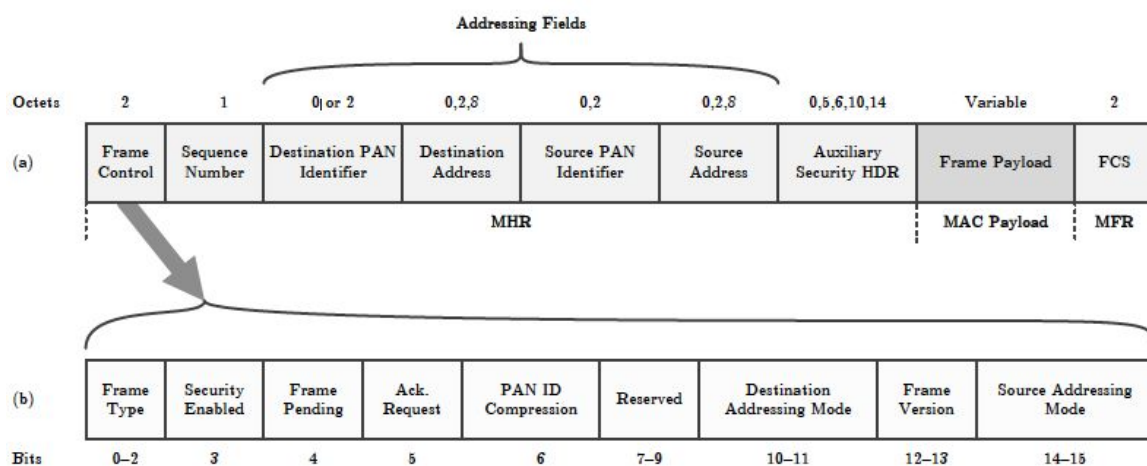
Všeobecne sa rámec skladá z 3 častí

- MHR - MAC Header
- MAC Payload - samotný payload
- MFR - MAC Footer

Frame Control

- **Frame Type** - typ rámca (beacon, data, príkaz, ack)
- **Security Enabled** - ak je nastavené, tak bude obsah šifrovaný a použije sa hlavička auxiliary header s info o šifrovaní
- **Frame Pending** - zariadenie oznamuje že má k dispozícii data, dátový rámec sa potom generuje ak si iné zariadenie požiada o dáta cez Data Request
- **Ack Request** - ak sa požaduje ACK pre tento rámec
- **PAN ID** - ID PAN siete, duh
- **Dest. Addressing Mode** a **Source Addressing Mode** - určuje či sa jedná o 16 bit alebo 64 bit adresovanie

- **Frame Version** - verzia 802.15.4 štandardu
- Sequence Number** - definuje sekvenčné číslo rámca
- Dest PAN ID** - self explanatory
- Dest Addr** - self explanatory
- Source PAN ID** - self explanatory
- Source Addr** - self explanatory
- FCS** - Frame Control Sequence, kontrolný súčet CRC



9. Protokol Zigbee, definice síťové vrstvy, směrování v mesh síti pomocí AODV, směrování ve stromové struktuře. Aplikační vrstva protokolu Zigbee, aplikační profily, koncové body (endpoints), zabezpečení komunikace.

Zigbee

Protokol založený na IEEE 802.15.4, definuje vyšší síťovou vrstvu (NWK Layer) a aplikační vrstvu (APS Layer) a služby pro zabezpečení komunikace.

Jednou z úloh je rozšířit jednoskokovou komunikaci do modelu, kde mohou komunikovat dvě zařízení bez toho aby byli v rádiovém dosahu pomocí multi-hop komunikace. Další úlohou je zabezpečení komunikace šifrováním, definování aplikačních profilů, etc. Uplatňuje se převážně v domácí automatizaci.

Typy zařízení

- Zigbee Coordinator (IEEE 802.15.4 - PAN-C (FFD))
- Zigbee Router (IEEE 802.15.4 - Router (FFD))
- Zigbee End Device (IEEE 802.15.4 - Device (RFD))

Sieťová vrstva (NWK layer)

Implementácia Zigbee musí zaručiť že hociktoér zariadenie bude vedieť komunikovať s hociktorým bez toho aby bolo potreba zvýšiť rádiový dosah komunikačnej jednotky.

Sieťová vrstva definuje princípy multihop komunikácie medzi jednotlivými uzlami.

Hlavné úlohy vrstvy

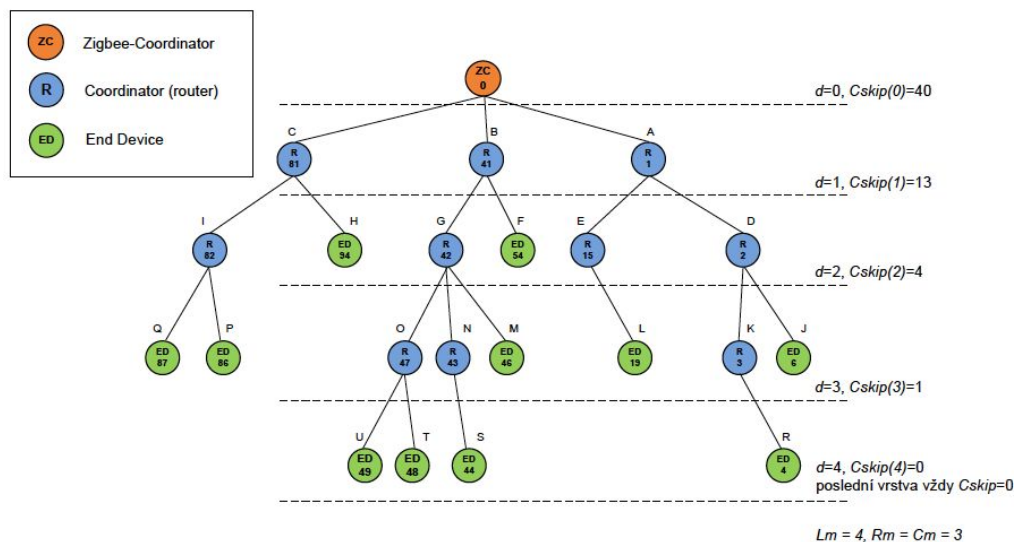
- Config nového zariadenia (nová jednotka v sieti môže byť router alebo end device)
- Spustenie siete (prvé zariadenie v sieti musí byť PAN-C)
- Pripojenie do siete a odpojenie od siete
- Zabezpečenie sieťovej vrstvy
- Smerovanie v sieti
- Udržiavanie smerovacích tabuliek
- Vytváranie tabuliek susedných uzlov

Zigbee definuje

- Unicast
- Broadcast (adresa 0xffff)
- Multicast

Stromová štruktúra uzlov a smerovanie

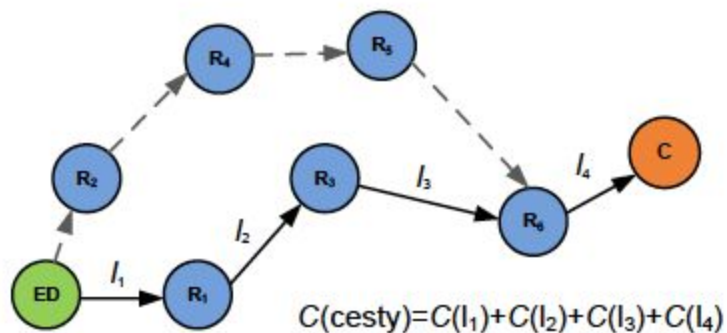
Pri vložení uzlu do siete je mu priradená 16bit adresa (alebo si ju user nakonfiguruje sám). Zigbee coordinator je koreň stromu. Hĺbka uzlu označuje koľko hopov paket vyslaný uzlom absolvuje, kým kým je prijatý koordinátorom. Stupeň uzlu je parameter označujúci počet ostatných zariadení v rádiovom dosahu daného uzlu. Stupeň celej siete je primerný počet stupňov všetkých uzlov.



Funkcia Cskip a hodnoty adres zariadení sú v stromovej topológii využité pri smerovaní dát. Smerovač ktorý prijal dáta najprv skontroluje či je koreňom v ceste paketu. Ak áno, je paket preposlaný ďalšiemu uzlu. Ak nie, vypočíta sa adresa uzlu pre ďalší skok podľa kurvanezapamätateľnej rovnice.

Smerovanie v mesh topológii pomocou AODV protokolu

Ad-hoc On Demand Vector protocol. Prenosová cesta býva väčšinou vytváraná na vyžiadanie a nemusí byť symetrická (tzn. cesty tam a späť nemusia byť rovnaké). Smerovanie je proces výberu medzilahlých uzlov pre doručenie správy k požadovanému príjemcovi. Zigbee koordinátor a Zigbee smerovače zostavujú smerovacie cesty.



Dĺžka cesty L je počet uzlov v prenosovej ceste (incl. odosielateľ a príjemca). Optimálna cesta sa volí na základe kvality spoja, počtu skokov a energetickej náročnosti, rozhoduje teda **cena spoja**. Čím je cena vyššia, tým je menšia pravdepodobnosť úspešného prijatia paketu. Cena spoja nenadobýva vyšších hodnôt ako 7.

Rovnica na výpočet ceny spoja na základe pravdepodobnosti prijatia paketu 75%:

$$C(l) = \text{round} \left(\frac{1}{P_l^4} \right)$$

$$C(l) = \text{round} \left(\frac{1}{0,75^4} \right) = 3.$$

Pravdepodobnosť prijatia paketu je založená na LQI. LQI škála sa rozdelí do 7 rozsahov, kde každý rozsah LQI odpovedá konkrétnej hodnote P. Cena spoja sa vypočíta zo súčtu pravdepodobností všetkých spojov na ceste.

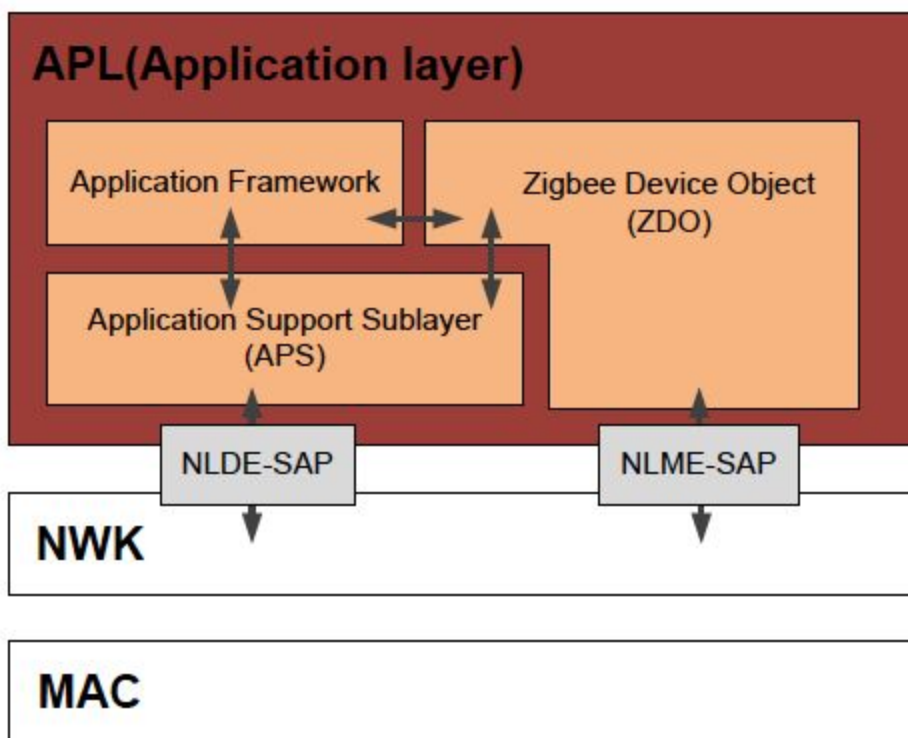
Router a Coordinator si držia smerovacie tabuľky. Cieľom tabuľky je nájsť ďalší hop. Ak router nemá záznam o príjemcovi, paket zahadzuje.

Okrem smerovacej tabuľky majú devices aj dočasnú smerovaciu tabuľku ktorú používajú pri poslaní a potvrdení smerom k zariadeniu ktoré požadovalo zostavenie cesty.

Dočasná tabuľka sa ruší po zostavení cesty alebo vypršaní konkrétneho časového úseku.

Všetky zariadenia majú tabuľku susedov, ktorá je aktualizovaná stále ak zariadenie prijíme od suseda v rádiovom dosahu paket. Sú uložené info o adrese, kvalite spoja, typu zariadenia, etc.

Aplikačná vrstva



APS vytvára rozhranie medzi sieťovou a aplikačnou vrstvou. V AF sú uložené aplikačné profily Zigbee zariadení. Jedno Zigbee zariadenie môže hostovať až 240 aplikácií. Každá aplikácia má unikátne číslo 1-240. Tento identifikátor sa nazýva **endpoint**. Endpoint 0 je vyhradený pre ZDO vrstvu. ZDO vytvára rozhranie medzi blokom APS a aAF a má na

starosti konfiguráciu zariadení, napr. Konfiguráciu funkcie (coordinator, router, end device).

Ak adresovaniu individuálnych aplikácií sa používa endpoint.

Aplikačné profily

Zaručujú kompatibilitu zariadení rôznych výrobcov pre rovnaké aplikačné využitie. Napr. komunikačné zariadenia výrobcu A dokážu aktivovať čidlo od výrobcu B, ak tieto zariadenia majú rovnaký Zigbee profil. Profil je identifikovaný 16bit číslom. Rozdah profilov 0x0000 - 0x7fff je vyhradený pre verejné profily definované Zigbee alianciou.

V roku 2013 tieto profily

- Zigbee Building Automation
- Zigbee Remote Control
- Zigbee Smart Energy
- Zigbee Health Care
- Zigbee Home Automation
- Zigbee Input Device
- Zigbee Light Link
- Zigbee Retail Service
- Zigbee Telecom Services
- Zigbee Network Devices

Každý profil obsahuje niekoľko clusterov, každý má vlastné 16bit číslo, každý cluster obsahuje množinu atribútov (atribút má tiež 16bit ID). Atribúty slúžia pre uloženie dát (napr. Teplotné čidlo ukladá nameranú hodnotu do jedného z atribútov)

Zabezpečenie prenosu

Zigbee používa 128bit AES. Šifrovací kľúč je predkonfigurovaný užívateľom.

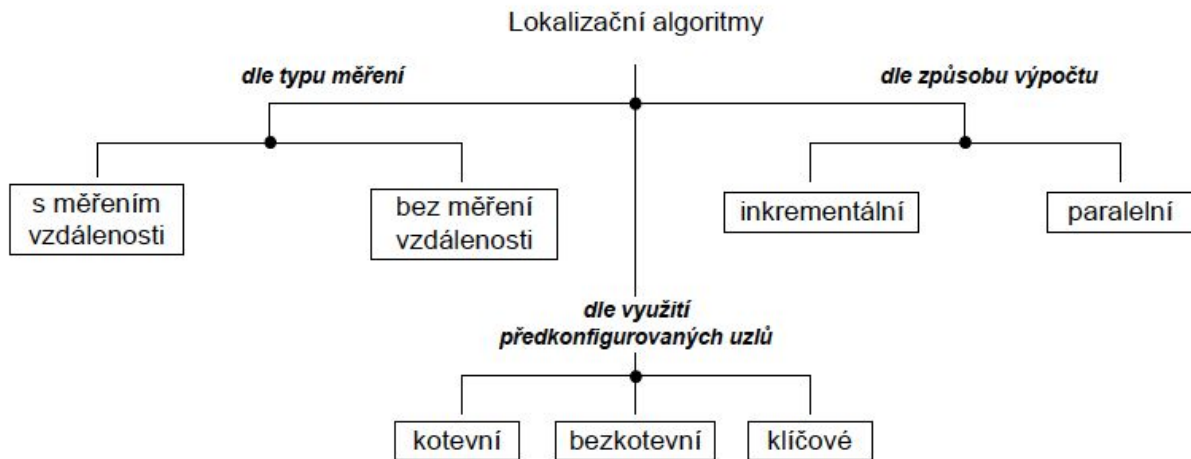
Pre zabezpečenie prenosu sú použité dva typy kľúčov. **Linkový kľúč** pre unicast prenosy a **sieťový kľúč** pre broadcast prenosy. Ak user nenakonfiguruje kľúč, tak môže byť distribuovaný pomocou tzv. **Trust Center** (napr. coordinator) pomocou key-transport kľúča. Tento kľúč ale už musí byť predkonfigurovaný užívateľom. Výhodou tohto spôsobu je že kľúč môže byť často menený z dôvodu zvýšenia bezpečnosti.

10. Lokalizace bezdrátových uzlů, energetická spotřeba při přenosu dat.

Proces lokalizácie je proces určenia polohy prvku v definovanom priestore. Ak aplikácia vyžaduje znalosť polohy zariadenia (napr. získaj dáta z južnej časti senzorov, etc.).

Existujú 3 spôsoby

1. Manuální konfigurace polohy uživatelem. Výhodou je že v síti nemusí proběhnout distribuovaný lokalizační proces a šetří se energie. Nevýhodou je neflexibilita.
2. GPS - nevýhodou je závislost na externím HW a převážně též vysoká spotřeba energie
3. Implementace optimálního lokalizačního algoritmu. Základním principem je určení vzdálenosti k zařízením, které už poznají svou polohu



Existují dva typy lokalizačních algoritmů

1. S měřením vzdálenosti
2. Bez měření vzdálenosti
 - a. K vyjádření vzdálenosti se používá počet hopů mezi dvěma uzly

Ak je v síti skupina zařízení, které mají předdefinovanou polohu (tzv. kotvy), říkáme o kotviacích algoritmech. Kotvy, které nemusí znát svoji polohu vysílají v pravidelných intervalech signál na různých frekvencích a s různým vysílacím výkonem.

Před samotnou lokalizací je zapotřebí provést měření v prostoru a vytvořit databázi s informacemi o místě, frekvenci a síle signálu. Lokalizace pak probíhá na základě porovnání klíče (frekvence a síla signálu) s informacemi v databázi. V tomto případě hovoříme o klíčových lokalizačních algoritmech.

Odhad vzdálenosti pomocí RSSI, Time of Arrival, Angle of Arrival