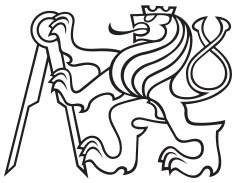
Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky

Přehledový přijímač / monitor rádiových sítí IoT

Ondřej Šulc

Školitel: Ing. Pavel Troller, CSc.
Obor: Komunikační systémy a sítě
Leden 2019

Poděkování

Děkujeme ...

Prohlášení

Fakt sám ...

Abstrakt

Rozvíjíme ...

Klíčová slova: IoT, SDR-RTL, LoRa, Sigfox, Přehledový přijímač

Školitel: Ing. Pavel Troller, CSc.
Pestitelský ústav,
Zárivá 232,
12000 Praha 2

Abstract

We develop ...

Keywords: IoT, SDR-RTL, LoRa, Sigfox, Scanner

Title translation: Scanner/Monitor of IoT radio networks

Obsah

Obrázky Tabulky

Kapitola 1
Úvod

Foo bar

Kapitola 2
LoRa

2.1 Fyzická vrstva (LoRa PHY)

2.1.1 Modulace

Modulační schéma LoRa je založeno na Chirp Spread Spread Spectrum (Cvrlikající rozprostřené spektrum) modulaci (Goursaud and Gorce, 2015) a definuje jeden "cvrk" jako jeden symbol (Semtech, 2015a). Standardní nemodulovaný lineární cvrk se nazývá "základní cvrk" a může být matematicky popsán jako funkce času t takto (Mann and Haykin, 1991):

$$x(t) = e^{i(\varphi_0 + 2\pi(\frac{k}{2}t^2 + f_0 t))} \tag{2.1}$$

Kde φ_0 je počáteční fáze, k je rychlost změny frekvence a f_0 je počáteční frekvence. Pokud je šířka pásma kanálu BW, tak parametry f_0 a k jsou nastaveny tak, že se frekvence zvětšuje od $f_0 - \frac{BW}{2}$ po $f_0 + \frac{BW}{2}$ během periody T cvrku. Tím pádem je $f_0 = \frac{BW}{2}$ and $k = \frac{BW}{T}$. Doba trvání jednoho cvrku závisí na šířce pásma signálu a na parametru nazývaném činitel rozprostření (Spreading Factor - SF) dle vztahu $T = \frac{2^{SF}}{BW}$ (Seller and Sornin, 2014). Vzhledem k tomu, že $x(t + nT) = x(t)$ kde $n \in \mathbb{N}$, celočíselná hodnota $i \in \{0, 1\}^{SF}$ může být namodulována na základní cvrk pomocí časového posunu $\hat{t} = Gray^{-1}(i)\frac{T}{2^{SF}}$ aplikovaného na signál ve vztahu (**??**), kde $Gray^1$ je dekódování Grayova kódu (Gray, 1953). Touto cestou je symbol v podstatě kvantovaný na 2^{SF} časových intervalů rozdělujích šířku pásma, nazýváme je "chipy" a právě ony určují i. Při příjmu modulovaného cvrku s neznámým časovým posuvem $x(t + \hat{t})$, může být hodnota cvrku zrekonstruována navzorkováním signálu vzorkovací frekvencí chipů a výpočtem:

$$i = Gray(arg\max(|FFT(x(t + \hat{t}) \odot \overline{x(t)})|)) \tag{2.2}$$

Kde $\overline{x(t)}$ značí komplexně sdružený základní cvrk, $\odot$ značí multiplikaci po prvcích, $|FFT(x)|$ zančí velikost Rychlé Fourierovi transformace x, a $Gray$ je Grayovo kódování.

2.1.2 Prokládání

Jako v každé jiné modulaci, musíme i zde počítat s chybami způsobenými šumem, interferencí, a časovými nebo frekvenčními posuny. Tyto chyby mohou způsobit, že hodnota čipu nebude dobře odečtena z modulovaného symbolu. Například poryv šumu může posunout vrchol v FFT spektru na jinou hodnotu chipu a tak jej znehodnotit.
Aby bylo možné minimalizovat dopad poryvů šumu na chybu jen jednoho bitu v symbolu je použito prokládání. Několik chipů je dohromady vepsáno do mřížky $\{0,1\}^{SFx(4+CR)}$, kde CR (Coding Rate) značí počet paritních bitů a nabývá hodnot 1 až 4. Pokud tedy bude použit $SF = 7$ a $CR = 4$ dostaneme matici $\{0,1\}^{7x8}$, příklad je na obrázku **??**. K získání kódové slova je pak potřeba číst bity po diagonále matice. Na rozdíl od patentu LoRy (Seller and Sornin, 2014), kde se uvádí, že směr diagonálního čtení bitů z mřížky je směrem dolů, v praxi lze pozorovat opačný směr. Tímto způsobem tak první chip obsahuje všechny nejméně významné bity (LSB - Least significant) všech kódových slov, druhý čip všechny druhé bity všech slov a tak dále. Díky tomu v případě ztráty celého čipu dojde k chybě jen v jednom bitu na kódové slovo.
Dalším způsobem jak zvýšit odolnost proti rušení vysílání je použití módu redukované rychlosti (reduced rate mode). V případě použití tohoto módu jsou první dvě řady prokládací matice zahozeny a její rozměr se tak změní na $\{0,1\}^{SF-2x(4+CR)}$ což způsobí, že z ní nasledně vyčteme o dvě kódová slova méně. Zahozené řádky obsahují nejméně významné bity chipů, které jsou nachylnější k chybám protože odpovídají užším frekvenčním intervalům v FFT spektru. Z toho vyplývá, že mód redukované rychlosti obětuje rychlost přenosu dat ve prospěch odolnosti proti šumu. Hlavička fyzické vrstvy LoRa je v tomto módu vysílána vždy, kdežtkoo užitečná data je v případě použití SF 11 nebo 12.

2.1.3 Kódování

Po přečtení kódových slov z prokládací matice mají tato délku $4 + CR$. Kvůli zamezení vzniku stejnosměrné složky byla slova v části rámce s užitečnými daty XOR-ována 9-bitovým lineární posuvným registrem se zpětnou vazbou (LSFR Linear feedback shift register) (whitening). A proto musí po synchronizaci projít stejným procesem znovu. Přesný algoritmus není v patentu určen a jeho výběr je tedy na každém výrobci zvlášť.
Na několika testovacích zařízeních **??** reverzním inženýrstvým zjistilo použité upraveného $4/(4 + CR)$ Hammingova kódu. Ve výsledku tak z každého kódového slova po dekódování získáme 4 bity dat. Ta jsou pak naparsována du struktury rámce lora.

2.1.4 Struktura rámce

Na fyzické vrstě LoRa definuje rámec jako strukturu složenou z následujících polí. Pole jsou uvedena ve stejném pořadí jako v rámci. (Semtech, 2015b, p. 27–29)

Preambule Sekvence základních cvrků, která slouží k časové a frekvenční synchronizaci. Počet cvrků není pevně dán.

Symboly synchronizace rámce Dva modulované cvrky co mouhou být použity pro identifikaci sítě. Hardwarový přijímač zahodí rámcec, které obsahují synchronizační symboly co neodpovídají jeho nastavení.

Symboly synchronizace frekvence Dva sdružené cvrky následované sdruženým cvrkem s periodoou $\frac{T}{4}$ určené pro přesnou frekvenční synchronizaci.

Hlavička (nepoviná) Hlavička obsahuje délku užitečných dat, použitou přenosovou rychlost, indikuje použití Cyklického redundantního součtu (CRC - Cyclic redunduncy check) a jendobajtovou kontrolní sumu hlavičky. Pro modulaci hlavičky je vždy použito $CR = 4$ a mód redukované rychlosti. Pokud hlavička vysílána není (implicitní mód) musí mít jak přijímač tak vysílač předem schodně nastavený CR a také zdali je použito CRC.

Užitečná data Pole o proměnné délce obsahující data vrstvy přístupu k médiu (MAC - Media access control) a případné dvoubajtové CRC těchto dat.

2.1.5 Struktura hlavičky

Délka hlavičky není ve specifikaci nikdy přímo určena. Lze jí však vydedukovat z toho, že hlavička je vždy vysílána v módu redukované rychlosti, má $CR = 4$ a SF minimálně 7. Z toho vyplívá že hlavička se musí vejít do mřížky $\{0,1\}^{7-2x8)}$ a to odpovídá 5 kódovým slovům. Každé slovo má 8 bitů a dohromady je to bitů 40. Jakékolic zbývající bity jsou použity pro užitečná data.
Po dekódování díky redundantním bitům dostáváme $40 * \frac{4}{8} = 20bits$ nebo 2,5 bajtu. V **??** experimentálně vyzkoušeli pořadí hlavičky. První bajt udává délku datového obsahu, následuje půlslabika udávající CR a přítomnost MAC CRC a poslední bajt obsahuje kontrolní součet hlavičky, z něj je však používá jen 5 LSB bitů.

Kapitola 3

Závěr

Lorep ipsum [?]

Literatura

[1] J. Doe. *Book on foobar.* Publisher X, 2300.