

THE OCDM SYSTEM MODEL

Tomáš Sekanina

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsekan11@vutbr.cz

Supervised by: Roman Maršálek

E-mail: marsaler@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper focuses on the multi-carrier modulation technique called Orthogonal Chirp Division Multiplex (OCDM). The first part of the paper contains theoretical and mathematical description of the OCDM system in general. Then digital model of the OCDM modulator and demodulator is realized in programming language MATLAB. Realization of the model represents two possible mathematical implementations of the Fresnel transform, whose discrete form is kernel of the system. In the digital model is performed simulation of information from transmitter to receiver in AWGN channel. Results are evaluated from the viewpoint of the system resilience against errors.

Keywords: OCDM, modulation, digital communication system, Fresnel transformation, MATLAB

1 ÚVOD

Realizace digitálního komunikačního systému pomocí *Orthogonal Chirp Division Multiplex* (OCDM) je relativně nový způsob, jehož princip byl poprvé publikován v článku [1]. K přenosu mezi vysílačem a přijímačem je využito tzv. chirp signálů, které nachází uplatnění zejména v radarových a sonarových systémech. OCDM pracuje s více nosnými vlnami a řadíme jej tedy mezi *Multi-Carrier* (MC) systémy. Známějším MC systémem je *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), který je rozšířený zejména díky možnosti realizace pomocí rychlé Fourierovy transformace. Oba zmíněné systémy pracují na stejných principech, ale jelikož systém OCDM využívá specifických chirp signálů, tak je pro zajištění maximální spektrální účinnosti v modulátoru i demodulátoru aplikována Fresnelova transformace [2], a to konkrétně její diskrétní forma. Cílem článku je systém OCDM nejprve uvést a následně realizovat jeho digitální model v prostředí MATLAB.

2 SYSTÉM OCDM

OCDM k přenosu signálu využívá více nosných vln. Jedná se tedy o MC modulační schéma, které na vysílací straně multiplexuje skupiny lineárních chirp signálů a na straně přijímací aplikuje inverzní kroky, aby bylo dosaženo původního signálu [1]. Systém OCDM pracuje na stejných principech jako systém OFDM, ale jelikož se využívá chirp signálu, tak jsou aplikovány matematicky odlišné postupy.

2.1 DISKRÉTNÍ FRESNELOVA TRANSFORMACE

Pro popis systému OCDM je nejprve nutné věnovat pozornost matematickým vlastnostem diskrétní Fresnelovy transformace, díky kterým jsme schopni transformovat bloky, již namodulovaných chirp signálů, na komplexní sériovou posloupnost vzorků. Sériový datový tok je poté možné vyslat přenosovým rádiovým kanálem směrem k přijímači. Po obdržení signálu na přijímací straně je opět využito transformace kvůli nutné rekonstrukci signálu do původní podoby. Inverzní diskrétní Fresnelova transformace (IDFnT) je v systému OCDM tedy využita v modulátoru a diskrétní Fresnelova transformace (DFnT) v demodulátoru.

Pro digitální implementaci OCDM systému lze využít popisu pomocí DFNT matice Φ řádu $N \times N$ s prvky (m,n) . Pro jednotlivé prvky této matice platí rovnice 1 a 2 [2], [3]:

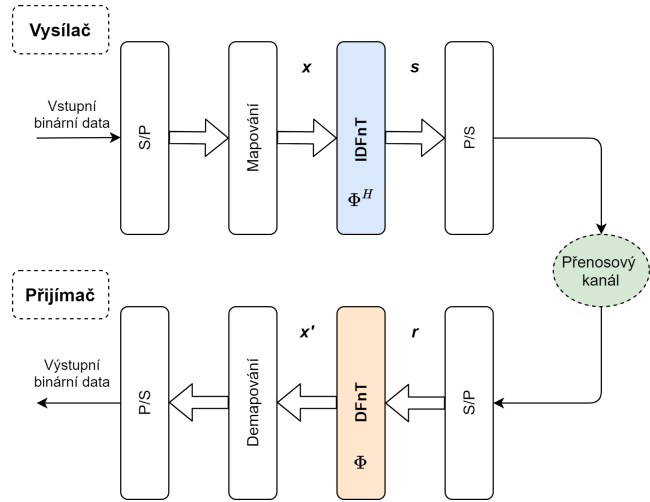
$$\Phi(m,n) = \frac{1}{\sqrt{N}} e^{-j\frac{\pi}{4}} e^{j\frac{\pi}{N}(m-n)^2} \quad \dots \text{ sudé } N, \quad (1)$$

$$\Phi(m,n) = \frac{1}{\sqrt{N}} e^{-j\frac{\pi}{4}} e^{j\frac{\pi}{N}(m+\frac{1}{2}-n)^2} \quad \dots \text{ liché } N. \quad (2)$$

3 DIGITÁLNÍ MODEL SYSTÉMU OCDM

Digitální model OCDM systému se skládá z vysílací části (modulátor), přenosového kanálu a přijímací části (demodulátor). Schématicky znázorněno na obrázku 1.

Do vysílací části OCDM systému vstupují sériově řazená binární data. Binární datová posloupnost je za pomoci sériově/paralelního (S/P) převodníku převedena na paralelní posloupnosti, které jsou v jednotlivých větvích mapovány pomocí modulačního schématu QPSK nebo M-QAM. Na namapované symboly $x(k)$ je poté aplikována IDFT a získáváme diskrétní signál $s(n)$. Datový tok je poté převeden do sériové symbolové posloupnosti a vstupuje do přenosového kanálu. V přijímací části jsou digitální sériová data pomocí S/P převodníku převedena zpět do původních paralelních větví, signál vyskytující se v tomto okamžiku označujeme $r(n)$.



Obrázek 1: Základní digitální model OCDM systému.

Poté je využito DFNT a po transformaci získáváme paralelní symboly $x'(m)$, které jsou dále demapovány a pomocí převodníku paralelně/sériového (P/S) převedeny na výstupní bitovou posloupnost. Na obrázku 1 je zanedbán vliv přenosového kanálu a jelikož nedochází k zašumění vyslaných symbolů, tak v tomto idealizovaném případě platí $x(k) = x'(m)$. Za tohoto předpokladu se musí vstupní bitová posloupnost na vysílači rovnat té na výstupu přijímače.

3.1 MATEMATICKÁ IMPLEMENTACE IDFT A DFNT

Jádrem OCDM systému je diskrétní forma Fresnelovy transformace, pomocí které jsou symboly vhodně transformovány pro další zpracování a přenos. Tuto transformaci lze implementovat v zásadě dvěma způsoby. První možností je implementovat IDFT a DFNT do systému OCDM pomocí definičního vztahu této transformace, tedy pomocí akumulace součinu vstupního vektoru s vektorem báze vzorek po vzorku. Druhou možností je implementace maticová, která nepracuje s jednotlivými vzorky, ale s celým souborem vzorků současně [1], [4].

Maticová implementace pracuje se čtvercovou DFNT Φ maticí, která již byla vyjádřena v rovnicích 1 a 2. Ve vysílači OCDM lze signál v maticové formě zapsat jako:

$$\mathbf{s} = \Phi^H \mathbf{x} \quad (3)$$

kde $\mathbf{s} = [s(0), s(1), \dots, s(N-1)]^T$ je OCDM vektor, $\mathbf{x} = [x(0), x(1), \dots, x(N-1)]^T$ je vektor symbolů a symbol Φ^H charakterizuje DFNT matici o velikosti $N \times N$, na kterou je aplikována komplexně konjugovaná transpozice. Neuvažujeme-li zašumění a úniky symbolů vlivem přenosu, tak platí rovnost $\mathbf{r} = \mathbf{s}$ a pro zrekonstruované symboly \mathbf{x}' na přijímací straně platí rovnice 4:

$$\mathbf{x}' = \Phi \mathbf{s} = \mathbf{x}. \quad (4)$$

Pro lepší orientaci lze využít náhledu na obrázek 1. Zde jsou jednotlivé úseky systému OCDM popsány i maticovými symboly.

Pro srovnání časové náročnosti obou způsobů implementace byla v prostředí MATLAB provedena simulace základního modelu OCDM systému znázorněného na obrázku 1 oběma těmito implementacemi. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 1.

Maticový zápis klade větší nároky na paměť. Uvažujeme-li RAM paměť o velikosti 8GB v kombinaci s 64 bitovou verzí MATLABu,

Tabulka 1: Srovnání časové náročnosti implementace IDFnT a DFnT.

Počet symbolů x	Doba simulace [s]	
	Implementace vzorek po vzorku	Maticová implementace
1 024	11,3594	5,731
10 000	55,5333	6,1291
102 400	4 638,2801	6,3643

tak lze pracovat s maticí Φ o maximální velikosti $4\,000 \times 4\,000$. Maticová implementace je i přes zmíněnou závislost na velikosti paměti RAM v digitální realizaci volbou číslo jedna, jelikož vykazují mnohonásobně menší časovou náročnost, což je zřejmé i z tabulky 1.

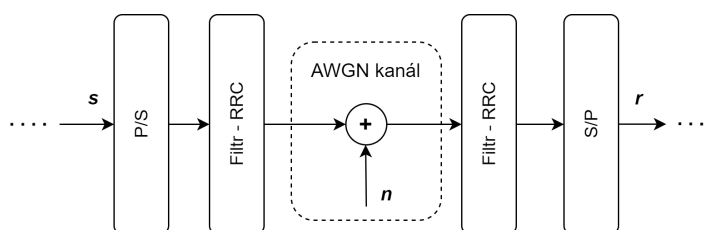
4 VLIV AWGN KANÁLU NA OCDM MODULACI

Základní model OCDM systému (viz obrázek 1) neuvažuje odezvu přenosového kanálu a neřeší otázku omezení spektra. V této kapitole je uvažován přenosový kanál a jeho vliv na data. Je provedena simulace přenosu informace z vysílače do přijímače v *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) modelu kanálu. Je tedy uvažován aditivní šum, který na přenášené symboly působí a signál po průchodu kanálem lze popsat následující rovnicí:

$$\mathbf{r} = \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (5)$$

kde \mathbf{n} je šumový vektor AWGN.

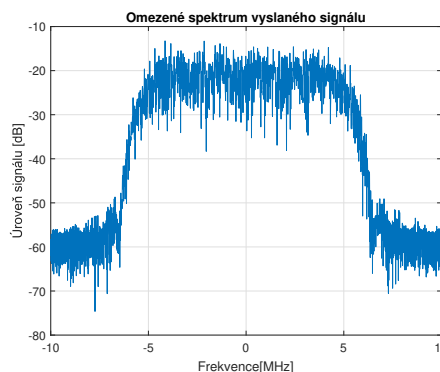
Tvarování modulačních pulsů je realizováno pomocí *Raised Cosine* (RC) filtru. Jedná se o filtr typu dolní propust, který je určen k omezení spektra signálu a potlačení mezisymbolových interferencí (*Inter Symbol Interference*, ISI). RC filtr je realizován pomocí dvou samostatných *Root Raised Cosine* (RRC) filtrů. Schématicky je AWGN kanál společně s RRC filtry znázorněn na obrázku 2. Zbytek schématických bloků je naznačen třemi tečkami a je stejný jako u schématu 1, kde je znázorněn základní model OCDM. Zpravidla se nastavení filtru provádí tak, aby zejména u nižších hodnot činitele tvaru β nedocházelo k výrazné chybovosti. Vhodné nastavení parametrů RRC filtru je uvedeno v tabulce 2. Omezené spektrum pomocí RRC filtru umístěného ve vysílači a nastaveného dle tabulky 2 je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 2: AWGN kanál v OCDM.

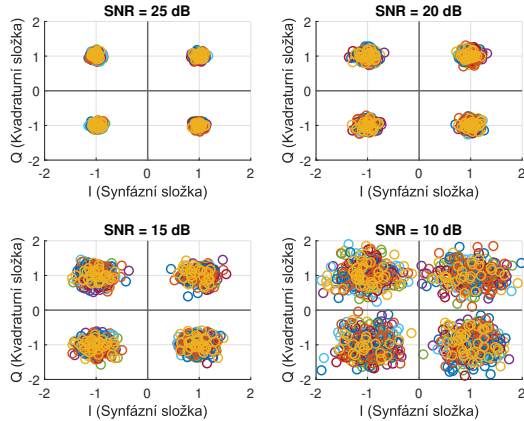
Tabulka 2: Volba parametrů pro RRC filtru.

Parametr filtru	Hodnota
činitel tvaru β	0,3
vzorků na symbol	2
délka impulzní odezvy	50

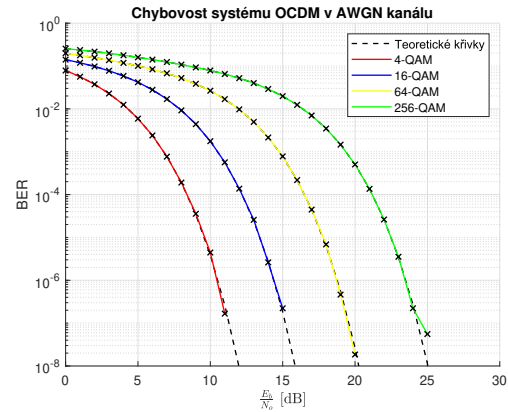


Obrázek 3: Omezené spektrum OCDM signálu pomocí RRC filtru.

Vliv AWGN kanálu na demodulované symboly v přijímači lze ukázat za pomoci konstelačních diagramů, viz obrázek 4. Konstelační diagramy namapovaných symbolů pomocí 4-QAM byly vygenerovány pro různé hodnoty *Signal to Noise Ratio* (SNR). Efektivnější metrikou pro popis odolnosti systému OCDM vůči chybám je však závislost BER na poměru $\frac{E_b}{N_0}$, jež byla vygenerována pro modulační schéma 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM a 256-QAM, viz obrázek 5.



Obrázek 4: Konstelační diagramy 4-QAM po průchodu AWGN kanálem.



Obrázek 5: Chybovost BER v systému OCDM pro kanál AWGN.

5 ZÁVĚR

V prostředí MATLAB byl vytvořen model modulátoru a demodulátoru OCDM. Byla provedena simulace základního modelu OCDM systému a tím i ověřena jeho základní funkčnost. Byly otestovány a porovnány dvě možné matematické implementace diskrétní Fresnelovy transformace, tvořící jádro OCDM modemu. Na základě získaných poznatků byla maticová implementace pro digitální realizaci a další simulace v systému MATLAB upřednostněna a veškeré navazující simulace využívají právě ji. Závěr článku se věnuje popisu simulace přenosu informace z vysílače do přijímače v AWGN modelu kanálu. Pro tvarování signálu byl aplikován RRC filtr, díky němuž bylo omezeno spektrum vysílaného OCDM signálu. Vliv AWGN kanálu byl zobrazen za pomoci konstelačních diagramů a zároveň byla vynesena závislost BER na poměru $\frac{E_b}{N_0}$. Křivky dosažené simulací odpovídaly těm teoretickým.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu specifického výzkumu Vysokého Učení Technického v Brně, *Mobilní komunikační systémy 5. a vyšších generací* (FEKT-S-20-6325).

REFERENCE

- [1] OUYANG, Xing a Jian ZHAO. *Orthogonal Chirp Division Multiplexing*. IEEE Transactions on Communications. 2016, 64(9), ISSN 0090-6778. DOI: 10.1109/TCOMM.2016.2594792. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7523229/>
- [2] F. V. JAMES, Daniel a Girish S. AGARWAL. *The generalized Fresnel transform and its application to optics*. Optics Communications. 1996. ISSN 0030-4018. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0030401895007083>
- [3] OUYANG, Xing, Cleitus ANTONY, Fatima GUNNING a Hongyu ZHANG. *Discrete Fresnel Transform and Its Circular Convolution*. ArXiv:1510.00574, 2015. Dostupné také z: <https://arxiv.org/abs/1510.00574>
- [4] OUYANG, Xing a Jian ZHAO. *Orthogonal Chirp Division Multiplexing for Coherent Optical Fiber Communications*. Journal of Lightwave Technology. 2016, 34(18), 4376 - 4386. ISSN 0733-8724. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7536125>