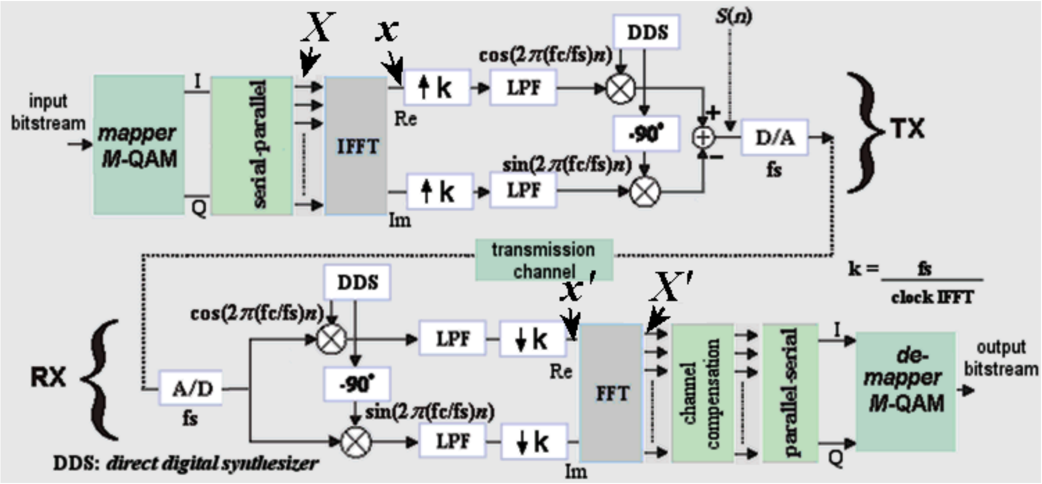
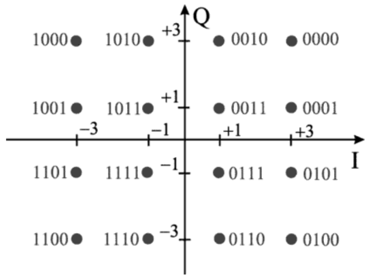
PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica

Tópicos Avançados em Comunicações – T450 – Exercício aula 01/10/2019

O diagrama na Figura 1 abaixo mostra a etapa de modulação de um sistema de comunicação digital OFDM 16-QAM:





mapper & *de-mapper* 16-QAM

Figura 1: Etapa de modulação de um sistema de comunicação digital OFDM 16-QAM. Note que a entrada da IFFT são valores X=I+jQ da constelação de referência do *mapper*. Da mesma forma, a saída da FFT corresponde a valores X'=I'+jQ' da constelação de referência do *de-mapper*, caso não haja degradação de sinal no canal de transmissão. Note ainda que a saída da IFFT no TX e entrada da FFT no RX são valores complexos x=Re+jIm mas que **<u>não são os valores da constelação de referência 16-QAM</u>**.

O bloco IFFT no TX executa a operação $x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi n \frac{k}{N}}$, onde X pode assumir qualquer um dos valores I+jQ da constelação do *mapper*, de acordo com a palavra binária de 4 bits a ser transmitida.

O bloco FFT no RX executa a operação inversa da executada no TX, isto é, $X'(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x'(n) e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$, e, se não ocorre qualquer degradação de sinal no bloco *transmission channel*, recupera em X' os valores I+jQ originalmente transmitidos em X.

a) Sabendo que o sistema utiliza N= 8 portadoras e que em um determinado instante o *buffer* de entrada da IFFT do TX armazena os valores dados pelo vetor $\underline{X} = [X_1\ X_2\ X_3\ X_4\ X_5\ X_6\ X_7\ X_8]^T$, resultantes do *input bitstream* B={0010 0111001100110011011111101010}, determine os valores resultantes no *buffer* de saída da IFFT dado pelo vetor $\underline{x} = [x_1\ x_2\ x_3\ x_4\ x_5\ x_6\ x_7\ x_8]^T$.

b) A partir do resultado anterior prove numericamente que o bloco FFT no RX recupera em X' os valores I+jQ originalmente transmitidos em X. Assuma que não ocorre ruído nem multipercurso no canal de transmissão.

Respostas:

a)

$$X = \begin{pmatrix} 1+3i \\ 1-i \\ 1+i \\ 1+i \\ 1+i \\ 1-i \\ -1-3i \\ -1+3i \end{pmatrix}$$

→ Símbolos X= I+jQ armazenados no *buffer* de entrada da IFFT (no TX da Figura 1), símbolos que são gerados no *mapper* pelo *input* *bitstream* dado no enunciado.

$N := \text{length}(X) \qquad N = 8$ → Número de portadoras

A operação de IFFT no TX é:

$n := 0..N-1$

$$x_n := \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left(X_k \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{k}{N}} \right)$$

Resultando na seguinte seqüência de números complexos na saída da IFFT no TX:

$$x = \begin{pmatrix} 1.414+1.414i \\ -1.414+2.414i \\ 2.828+2.828i \\ 2.414 \\ -1.295 \times 10^{-15} \\ -1.414+0.414i \\ -1.414+1.414i \\ 0.414 \end{pmatrix}$$

b) A operação de FFT no RX é:

$\text{xlinha} := x$ → Não há ruído nem multipercurso no canal

$k := 0..N-1$

$$\text{Xlinha}_k := \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \left(\text{xlinha}_n \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{n}{N}} \right)$$

$$\text{Xlinha} = \begin{pmatrix} 1+3i \\ 1-i \\ 1+i \\ 1+i \\ 1+i \\ 1-i \\ -1-3i \\ -1+3i \end{pmatrix}$$

$\text{mean}(X - \text{Xlinha}) = 0$

~0 → OK! Símbolos IQ recuperados corretamente na FFT do RX.