



Modulação Multiportadora

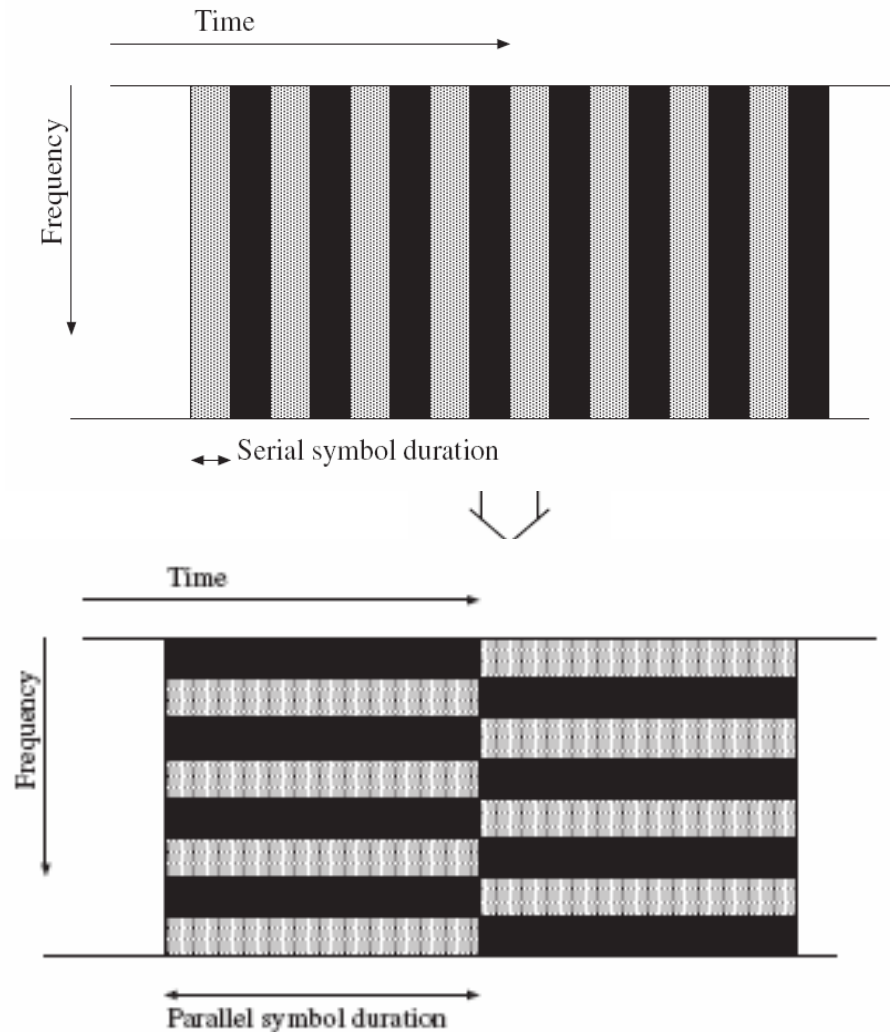
- Consiste na transmissão paralela de dados através de diversas subportadoras;
- A taxa de transmissão por subportadoras é tão baixa quanto maior for o número de subportadoras empregadas.



Modulação Multiportadora

- O número de sub-portadoras é escolhido de tal maneira que cada subcanal seja aproximadamente plano ($B_s \ll B_c$).
- Tomar cuidado para não aumentar muito a duração de cada subsímbolo de forma que o sistema se torne muito sensível as variações temporais do canal ($T_s \gg T_m$).

Transmissão Paralela



Efeito da Modulação Multiportadora em um Canal Seletivo em Frequência



Relações:

$$B_c < B$$

B_c – Banda de coerência

$$B_N = B/N$$

B_n – Banda do subcanal

$$B_N = B/N \ll B_c$$

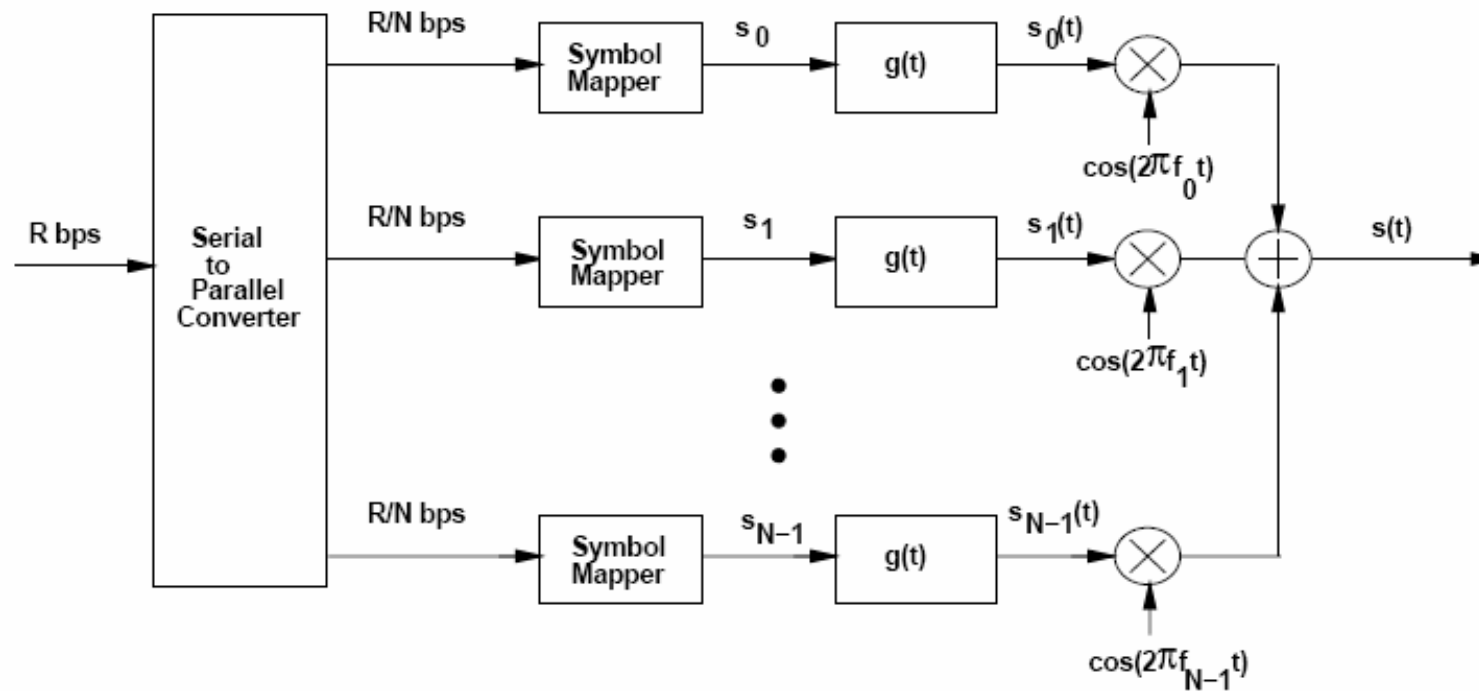
T_n – Duração do símbolo

$$T_N \approx 1/B_N \gg 1/B_c \approx T_m$$

T_m – Espalhamento de atraso do canal

N – n. de subcanais

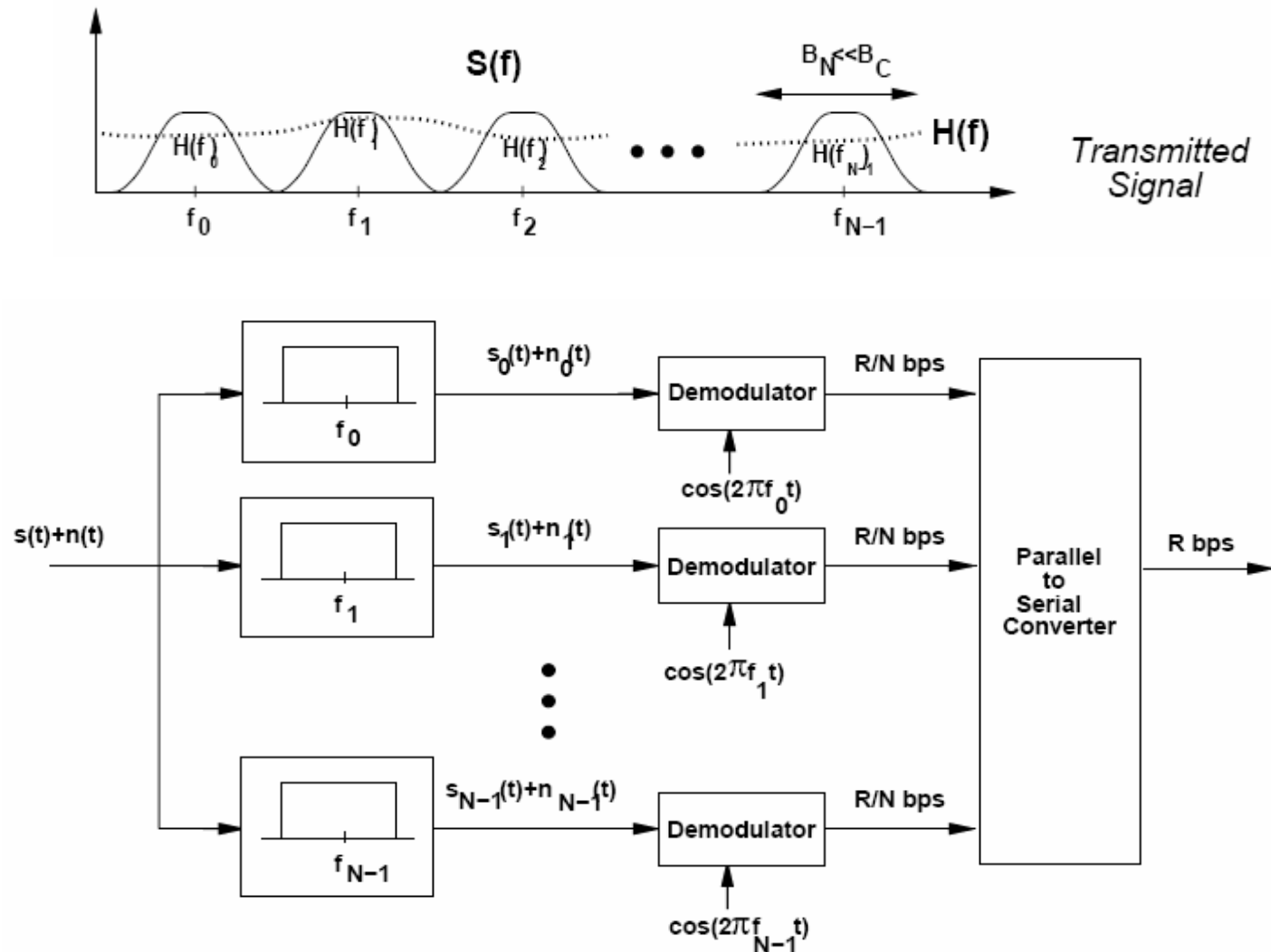
Transmissor para Modulação Multiportadora



Sinal transmitido:

$$s(t) = \sum_{i=0}^{N-1} s_i g(t) \cos(2\pi f_i t + \phi_i)$$

Receptor para Modulação Multiportadora sem Sobreposição





Largura de Banda para subcanais não sobrepostos

$$B = \frac{N(1 + \beta + \epsilon)}{T_N}$$

β – fator de roll-off

ϵ/T_N – banda adicional devido ao truncamento no tempo dos pulsos



Exercício:

1) - Considere um sistema multiportadora com banda total de 1 MHz. Suponha que o sistema opera em uma cidade cujo espalhamento de atraso é de $20\mu\text{s}$. Quantas subportadoras são necessárias para que cada subcanal seja praticamente plano?



Solução:

$$B_c = 1/T_m = 1/.00002 = 50 \text{ KHz.}$$

$$B_N = B/N = .1B_c \ll B_c.$$

$$N = B/.1B_c = 1000000/5000 = 200$$

Exercício:

- 2) – Considere um sistema multiportadora onde a duração do símbolo de cada subcanal é de 0,2ms para que os subcanais fiquem praticamente livres de ISI. Assuma que o sistema possui 128 subportadoras. Se o sistema utiliza um pulso coseno levantado com fator de roll-off = 1 e requer uma banda adicional $\epsilon/T_N = 0.1$ devido a limitação do pulso no tempo, qual será a largura de banda total do sistema?



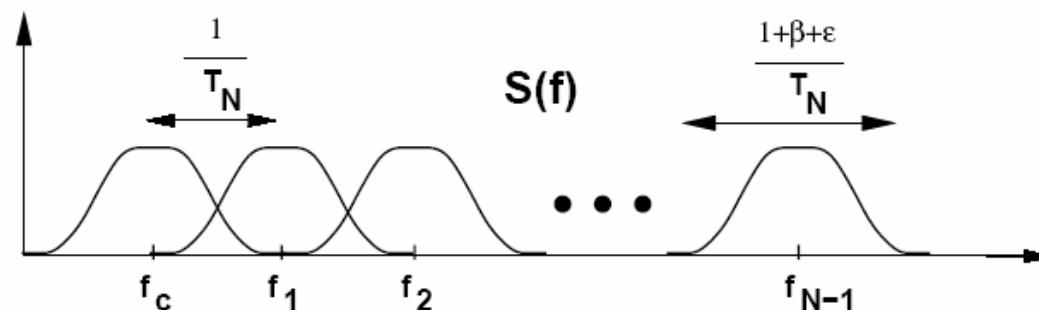
Solução:

$$B = \frac{N(1 + \beta + \epsilon)}{T_N} = \frac{128(1 + 1 + .1)}{.0002} = 1.344 \text{ MHz.}$$

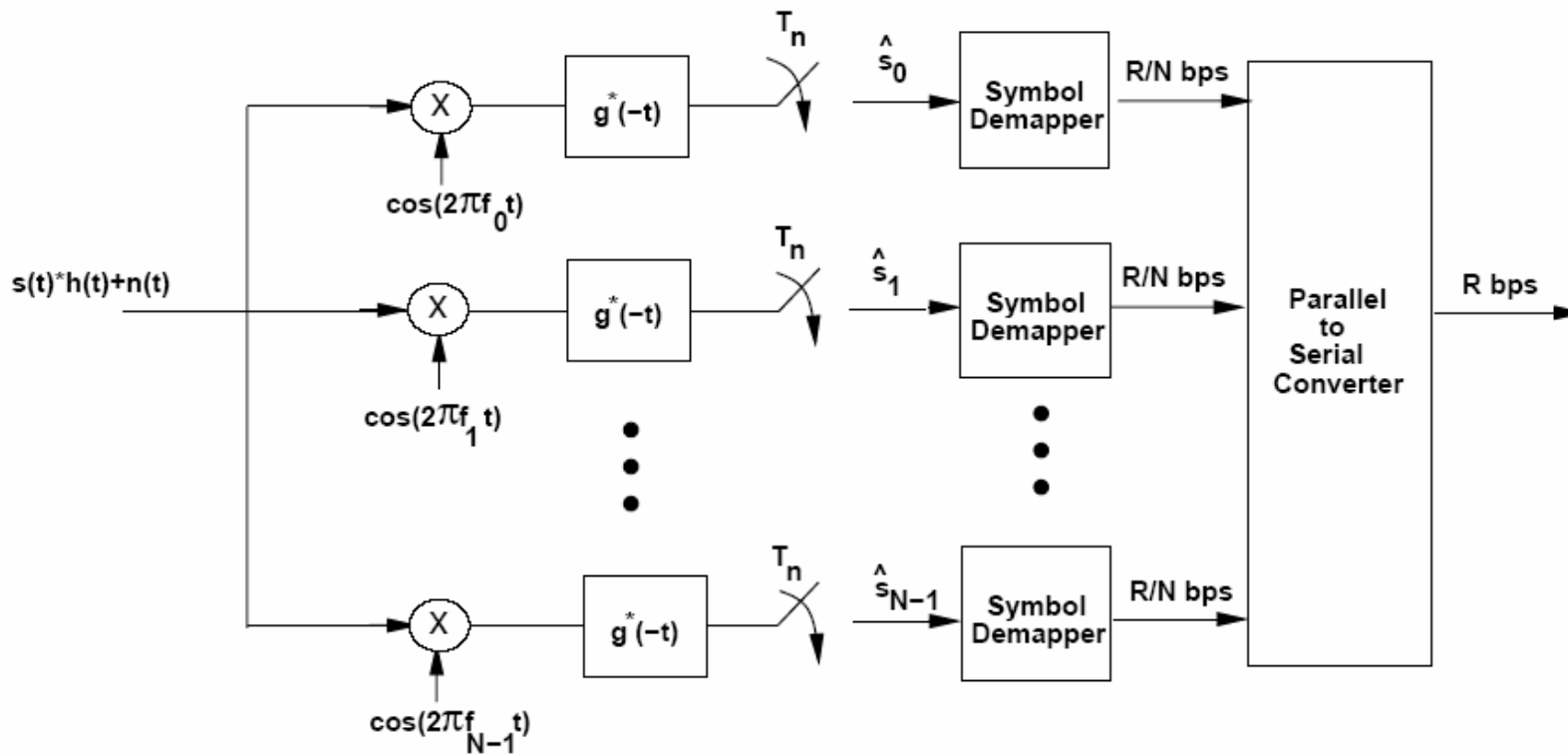
Modulação Multiportadora com Sobreposição

- Neste tipo de modulação há uma sobreposição entre os canais, permitindo uma economia na largura de banda total do sistema

$$B = \frac{N + \beta + \epsilon}{T_N} \approx \frac{N}{T_N}$$



Receptor para Modulação Multiportadora com Sobreposição



Exemplo:

- Compare a largura de banda entre um sistema multiportadora com sobreposição e um sem sobreposição. Considere o exercício 2.

$$B = \frac{N + \beta + \epsilon}{T_N} :$$

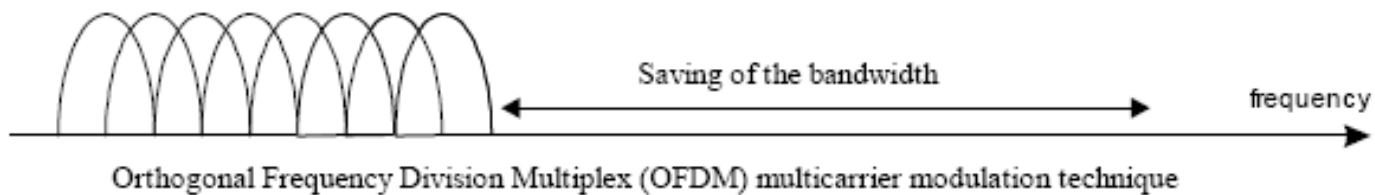
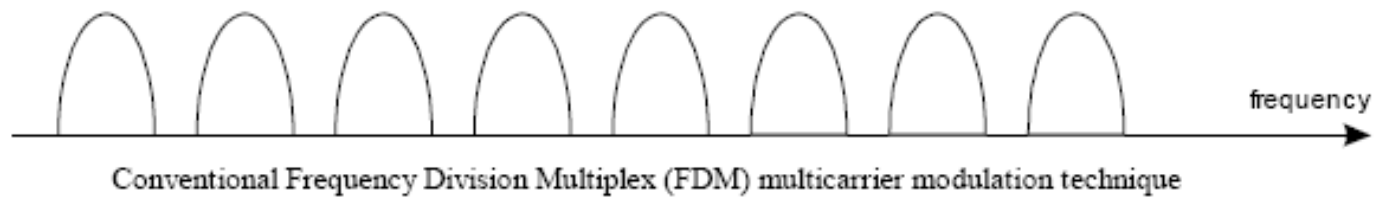
$$645.5 \text{ KHz} \approx B/T_N = 640 \text{ KHz.}$$



OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

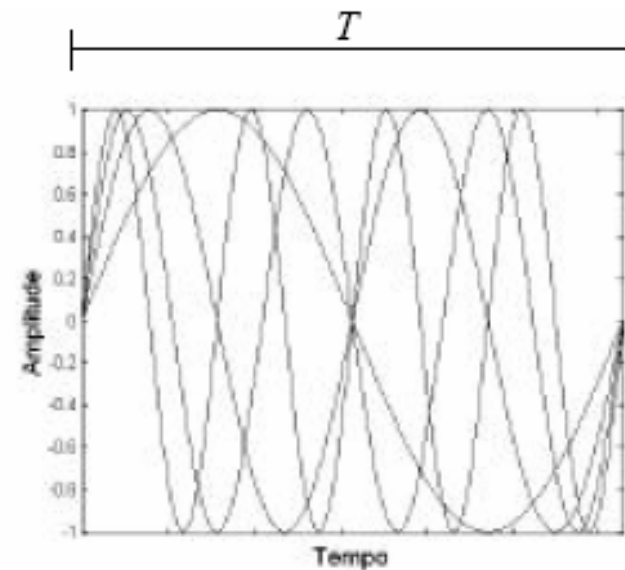
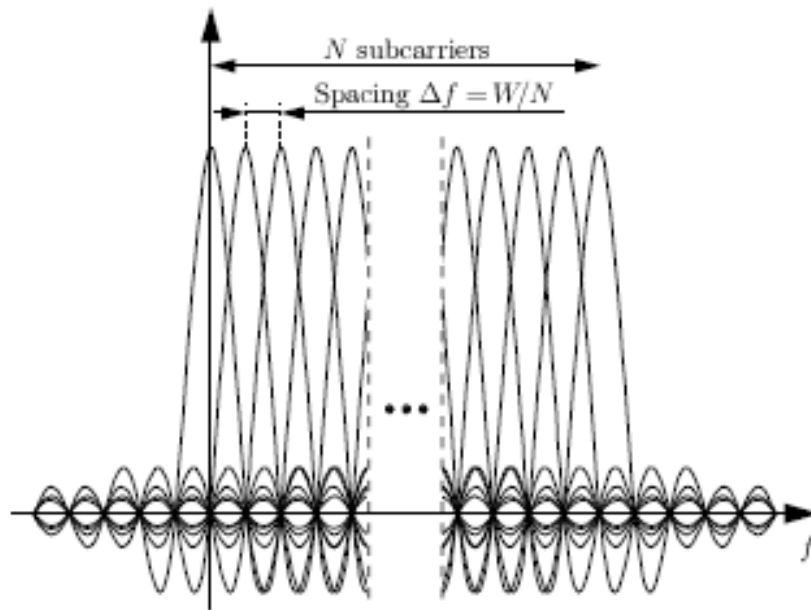
- A técnica OFDM pode ser vista tanto como modulação multiportadora quanto multiplexação;

Comparação entre FDM e OFDM



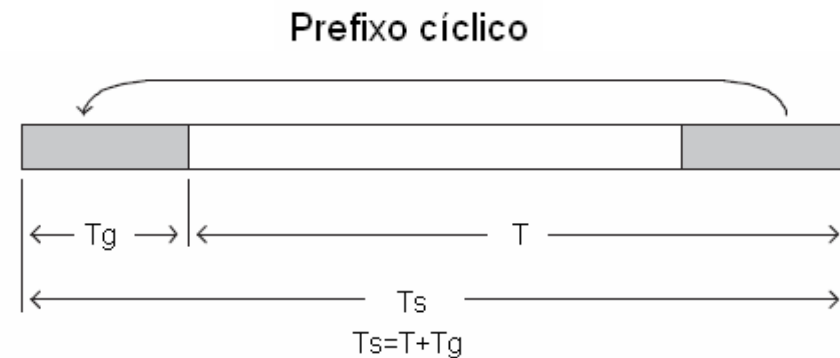
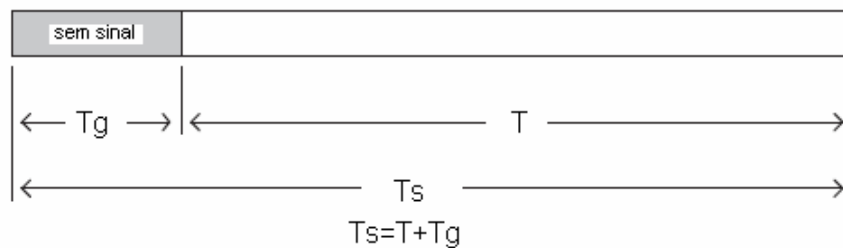
Ortogonalidade entre as Subportadoras OFDM

- Espectro de frequências de várias subportadoras.
- Subportadoras no domínio do tempo.

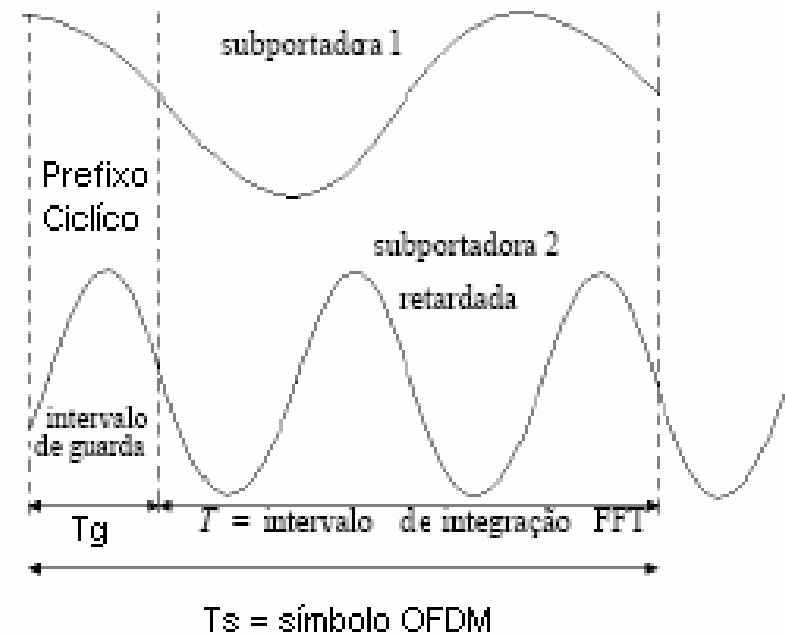
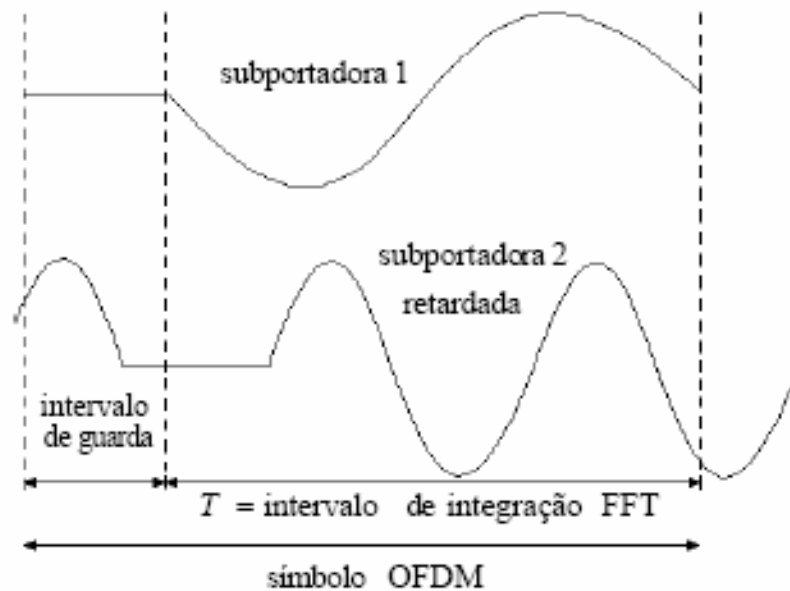


Composição do Símbolo OFDM

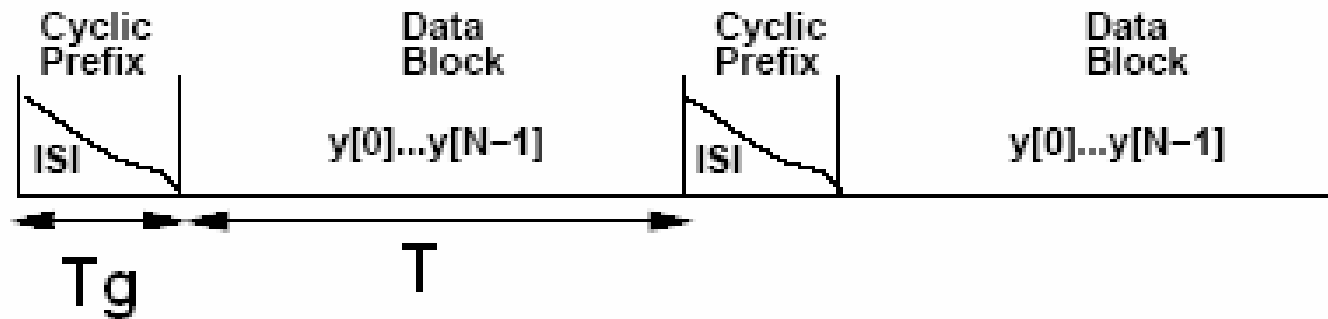
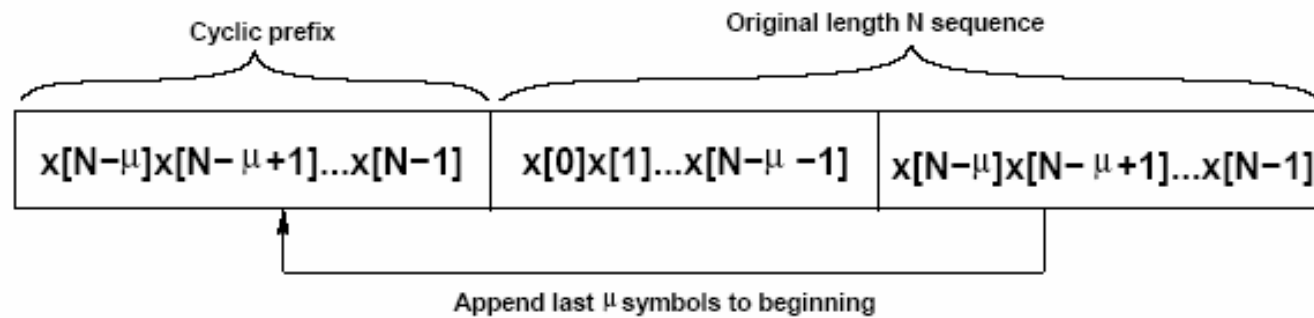
- Para eliminar a interferência intersimbólica (ISI) causada em um canal seletivo, o símbolo OFDM tem em sua composição um intervalo de guarda. $T_g \approx T_m$



Intervalo de Guarda sem e com Extensão Cíclica



Prefixo Cíclico





Exercício:

Example 12.4: Consider an OFDM system with total passband bandwidth $B = 1$ MHz assuming $\beta = \epsilon = 0$. A single carrier system would have symbol time $T_s = 1/B = 1\mu s$. The channel has a maximum delay spread of $T_m = 5 \mu sec$, so with $T_s = 1 \mu sec$ and $T_m = 5 \mu sec$ there would clearly be severe ISI. Assume an OFDM system with MQAM modulation applied to each subchannel. To keep the overhead small, the OFDM system uses $N = 128$ subcarriers to mitigate ISI. So $T_N = NT_s = 128 \mu sec$. The length of the cyclic prefix is set to $\mu = 8 > T_m/T_s$ to insure no ISI between OFDM symbols. For these parameters, find the subchannel bandwidth, the total transmission time associated with each OFDM symbol, the overhead of the cyclic prefix, and the data rate of the system assuming $M = 16$.



Solução:

$$B_N = 1/T_N = 7.812 \text{ KHz}$$

$$B_N \ll B_c = 1/T_m = 200 \text{ KHz.}$$

$$T = T_N + \mu T_s = 128 + 8 = 136 \mu\text{s.}$$

overhead associated with the cyclic prefix is $8/136$

data rate is $128 \times 4/136 \times 10^{-6} = 3.76 \text{ Mbps}$

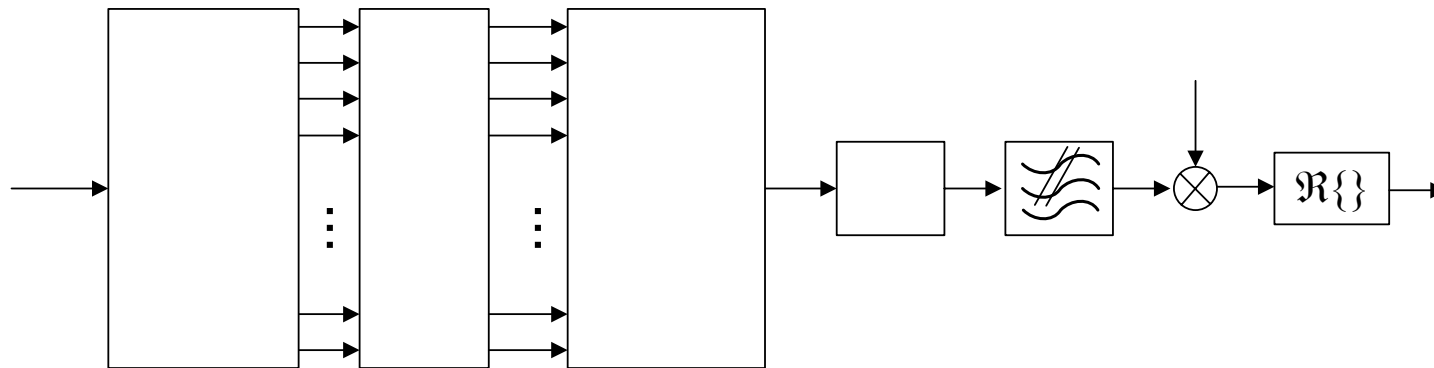


Implementação do OFDM

- A implementação da técnica OFDM é feita através da transformada discreta de Fourier (DFT e IDFT)
- Na prática utiliza-se os algoritmos FFT e IFFT

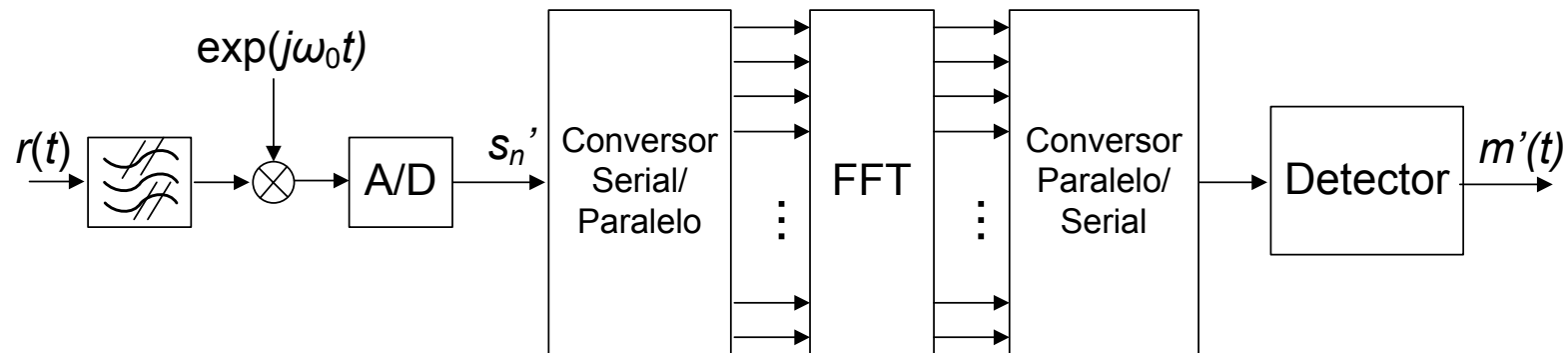
Modulador OFDM Utilizando IFFT

$$\text{IDFT}\{X[i]\} = x[n] \triangleq \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X[i] e^{j \frac{2\pi n i}{N}}$$



Receptor OFMD Utilizando FFT

$$\text{DFT}\{x[n]\} = X[i] \triangleq \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi n i}{N}},$$



Exemplos de Sistemas que Utilizam OFDM

- Sistemas Broadcasting de Rádio e TV Digital – DAB e DVB-T

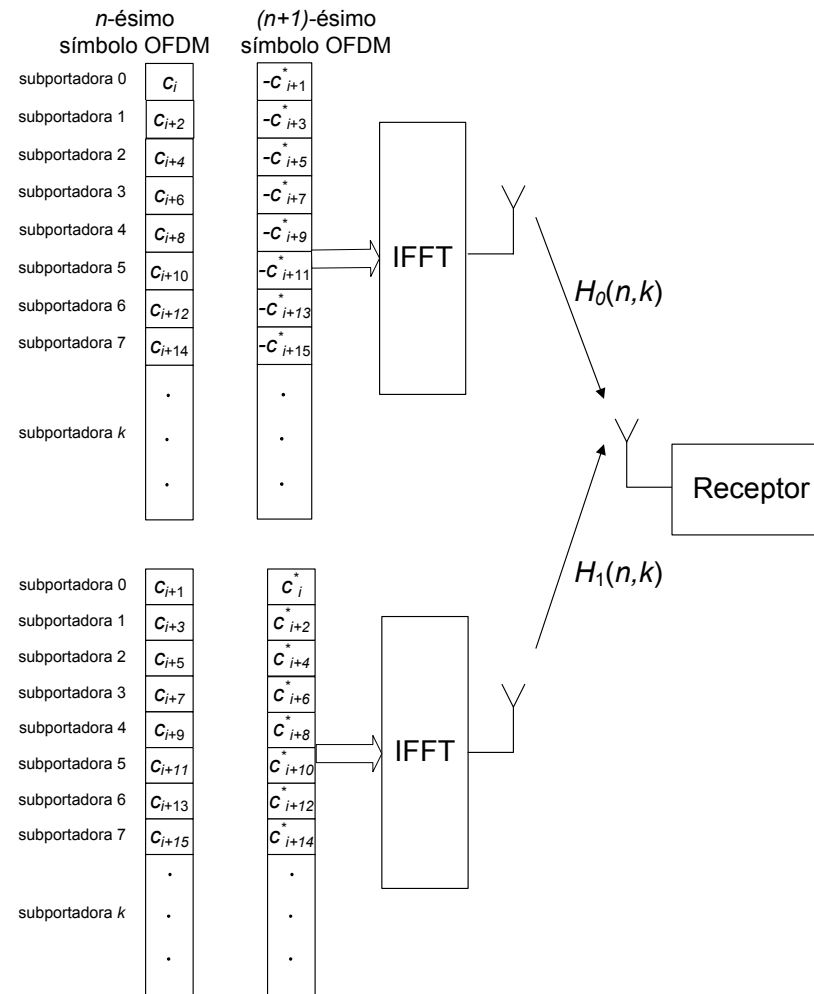
Parameter	DAB			DVB-T	
Bandwidth	1.5 MHz			8 MHz	
Number of sub-carriers N_c	192 (256 FFT)	384 (512 FFT)	1536 (2k FFT)	1705 (2k FFT)	6817 (8k FFT)
Symbol duration T_s	125 μ s	250 μ s	1 ms	224 μ s	896 μ s
Carrier spacing F_s	8 kHz	4 kHz	1 kHz	4.464 kHz	1.116 kHz
Guard time T_g	31 μ s	62 μ s	246 μ s	$T_s/32, T_s/16, T_s/8, T_s/4$	
Modulation	D-QPSK			QPSK, 16-QAM, 64-QAM	
FEC coding	Convolutional with code rate 1/3 up to 3/4			Reed Solomon + convolutional with code rate 1/2 up to 7/8	
Max. data rate	1.7 Mbit/s			31.7 Mbit/s	

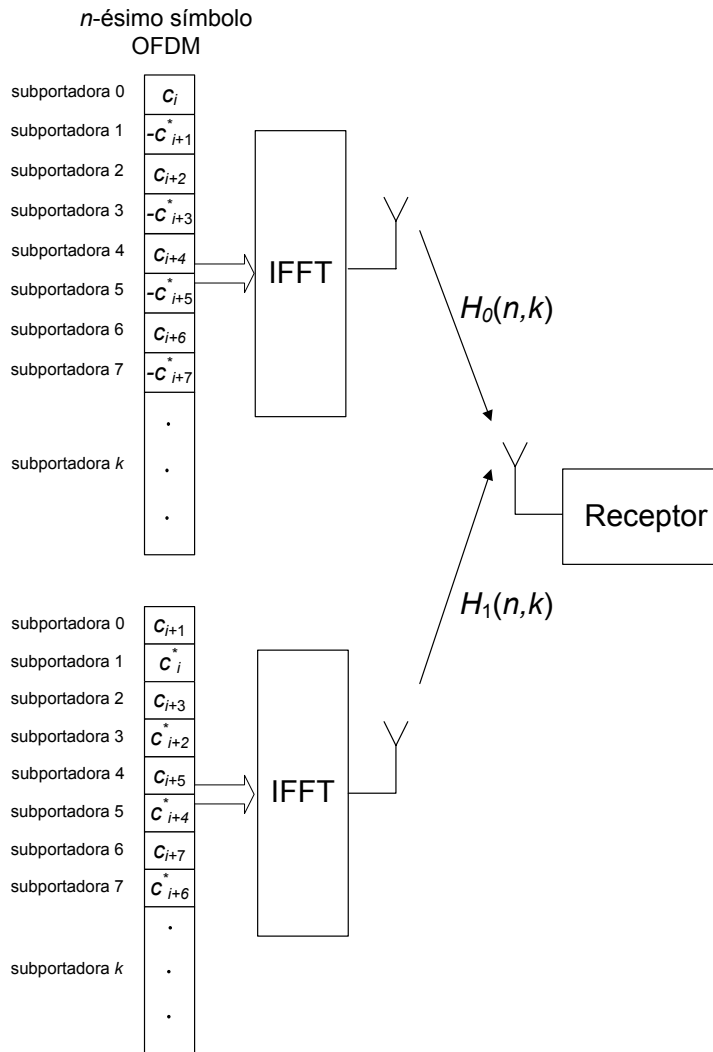


Exemplos de Sistemas que Utilizam OFDM

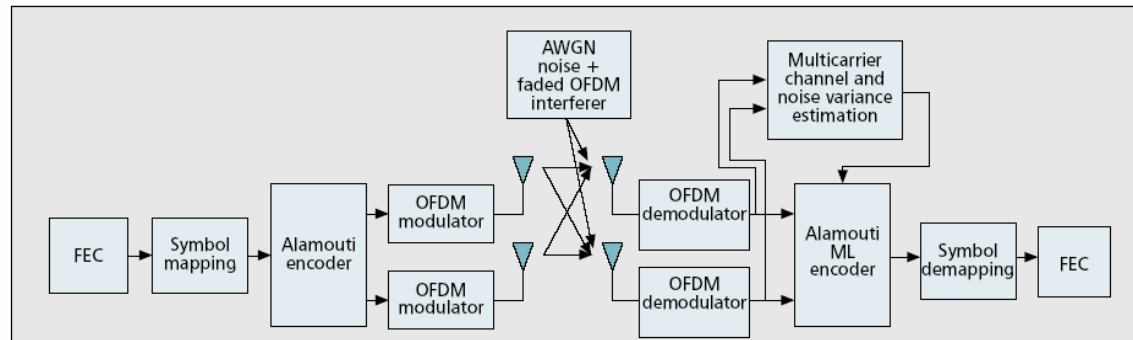
➤ WLAN – IEE 802.11a

Parameter	IEEE 802.11a, HIPERLAN/2
Bandwidth	20 MHz
Number of sub-carriers N_c	52 (64 FFT)
Symbol duration T_s	4 μ s
Carrier spacing F_c	312.5 kHz
Guard time T_g	0.8 μ s
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM, and 64-QAM
FEC coding	Convolutional with code rate 1/2 up to 3/4
Max. data rate	54 Mbit/s





➤ WirelessMAN-OFDM IEEE 802.16d



Rate ID	Modulation rate	Coding	Information bits/symbol	Information bits/ OFDM symbol	Peak data rate in 5 MHz (Mb/s)
0	BPSK	1/2	0.5	88	1.89
1	QPSK	1/2	1	184	3.95
2	QPSK	3/4	1.5	280	6.00
3	16QAM	1/2	2	376	8.06
4	16QAM	3/4	3	568	12.18
5	64QAM	2/3	4	760	16.30
6	64QAM	3/4	4.5	856	18.36



Caso de Estudo – IEEE 802.11a

- Características do padrão
 - $N=64$, sendo que 48 são para dados e 12 são zeradas para reduzir a interferência de canais adjacentes
 - Prefixo cíclico consiste de 16 amostras
 - O número total de amostras de um símbolo OFDM é de 80
 - A taxa do código pode variar de $r=1/2$, $2/3$ ou $3/4$
 - As modulações utilizadas são BPSK, QPSK, 16-QAM ou 64-QAM
 - Largura de banda de 20MHz



Caso de Estudo – IEEE 802.11a

$$B_N = \frac{20 \text{ MHz}}{64} = 312.5 \text{ KHz.}$$

$$T_m < \mu T_s = \frac{16}{20 \text{ MHz}} = 0.8 \mu\text{sec,}$$

Since $\mu = 16$ and $1/T_s = 20 \text{ MHz}$,

$$T_N = 80 T_s = \frac{80}{20 \times 10^6} = 4 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} R_{min} &= 48 \text{ subcarriers} \times \frac{1/2 \text{ bit}}{\text{coded bit}} \times \frac{1 \text{ coded bit}}{\text{subcarrier symbol}} \times \frac{1 \text{ subcarrier symbol}}{4 \times 10^{-6} \text{ seconds}} \\ &= 6 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

$$R_{max} = 48 \text{ subcarriers} \times \frac{3/4 \text{ bit}}{\text{coded bit}} \times \frac{6 \text{ coded bits}}{\text{subcarrier symbol}} \frac{1 \text{ subcarrier symbol}}{4 \times 10^{-6} \text{ seconds}} = 54 \text{ Mbps.}$$

IEEE 802.11a WLAN PHY

