

Redes de Computadores

Prof. Macêdo Firmino

Aula 07

Multiplexação de Dados

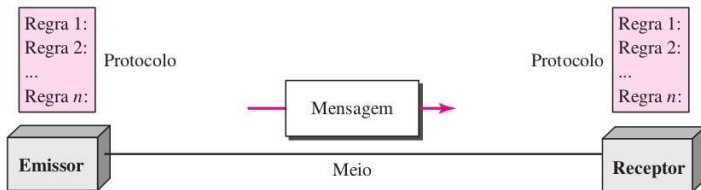
“Quando não enfrentamos os nossos fatos existenciais com plena aceitação, criamos quase sempre uma estrutura mental de defesa. Somos levados a reagir com atitudes de negação.” (Hammed)



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

O que Aprenderemos?

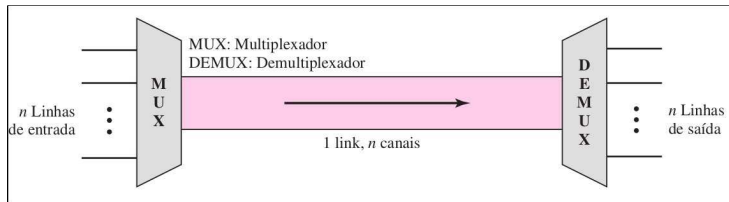
- Compreender o conceito de multiplexação de dados e sua importância nas comunicações modernas.
- Diferenciar os principais tipos de multiplexação: TDM (Time Division Multiplexing), FDM (Frequency Division Multiplexing), WDM (Wavelength Division Multiplexing) e CDM (Code Division Multiplexing)
- Aprender algumas implementação que utilizam multiplexação.



Aprendermos como as informações são convertidas em digital, como estas informações são transformadas em sinal (digital e analógico), quais são os meios de transmissão, como os equipamentos podem realizar a transmissão dos dados (comutação). Mas será que no meio físico irá apenas um sinal por vez?

Multiplexação é o processo de combinar múltiplos fluxos de dados em um único canal de comunicação, permitindo a transmissão eficiente de informações entre dispositivos em uma rede. O processo envolve dois elementos principais:

- Multiplexador (MUX): dispositivo que combina vários sinais de entrada em um único sinal composto, transmitido por um canal comum.
- Demultiplexador (DEMUX): dispositivo no lado receptor que separa o sinal composto nos fluxos de dados originais, entregando-os aos respectivos destinos.



Multiplexação

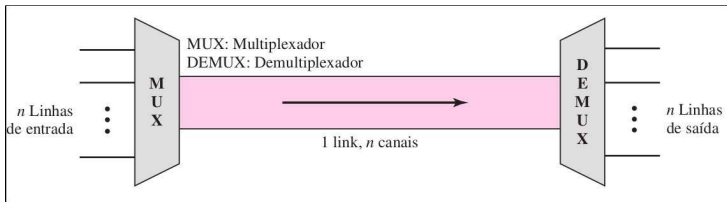
São exemplos de transmissão multiplexada:

- Redes celulares: onde múltiplos usuários compartilham o ar com frequências, códigos ou em tempos diferentes.
- TV a cabo: onde vários canais de vídeo e áudio trafegam por um único cabo com frequências diferentes.
- Redes ópticas: com transmissão de múltiplos dados em diferentes comprimentos de onda.
- Sistemas de Rádio FM: vários sinais de áudio de estações de rádio diferentes compartilham o ar onde cada um opera em uma faixa de frequência específica.



Multiplexação

O objetivo da multiplexação é otimizar o uso dos recursos de transmissão combinando múltiplos sinais em um único canal, sem que eles interfiram uns nos outros. Esse processo é essencial para maximizar a eficiência, reduzir custos e permitir a transmissão simultânea de diferentes tipos de informações, como voz, vídeo e dados, compartilhando o enlace.



Multiplexação

As principais técnicas de multiplexação são:

- Multiplexação por divisão de frequência (FDM - *Frequency Division Multiplexing*) – Analógico;
- Multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM - *Wave Division Multiplexing*) – Analógico;
- Multiplexação por divisão do tempo (TDM - *Time Division Multiplexing*) – Digital;
- Multiplexação por Divisão de Código (CDM - *Code Division Multiplexing*) – Digital.



Multiplexação FDM

A Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM - *Frequency Division Multiplexing*) é uma técnica que permite transmitir múltiplos sinais simultaneamente através de um único canal de comunicação, utilizando diferentes faixas de frequência para cada sinal.

Multiplexação FDM

FDM é usado em sistemas de comunicação baseados em ondas de rádio ou elétricas. Por exemplos:

- Rádio FM: cada estação de rádio é transmitida em uma frequência específica dentro da banda alocada (ex.: 88 a 108 MHz). Cada estação apresenta uma largura de banda de 200 kHz e uma frequência específica.
- Televisão a Cabo: canais de TV são multiplexados em diferentes frequências ao longo de um cabo. Utilizam faixas de frequência de 5 MHz até 885 MHz.



Multiplexação FDM

Alguns canais da TV Aberta no Brasil

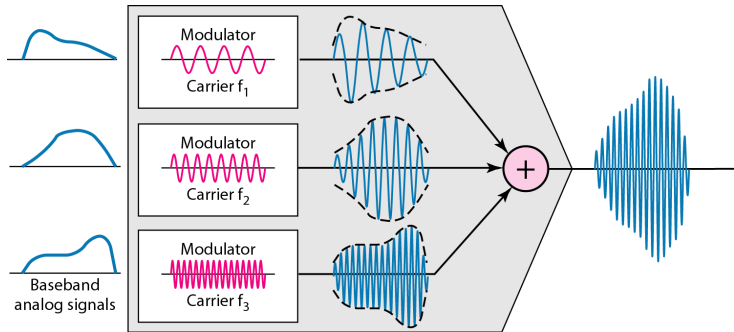
Canal	Faixa de Frequências (MHz)	Canal	Faixa de Frequências (MHz)	Canal	Faixa de Frequências (MHz)
14	470-476	29	560-566	45	656-662
15	476-482	30	566-572	46	662-668
16	482-488	31	572-578	47	668-674
17	488-494	32	578-584	48	674-680
18	494-500	33	584-590	49	680-686
19	500-506	34	590-596	50	686-692
20	506-512	35	596-602	51	692-698
21	512-518	36	602-608	52	698-704
22	518-524	38	614-620	53	704-710
23	524-530	39	620-626	54	710-716
24	530-536	40	626-632	55	716-722
25	536-542	41	632-638	56	722-728
26	542-548	42	638-644	57	728-734
27	548-554	43	644-650	58	734-740
28	554-560	44	650-656	59	740-746

A faixa de 608-614 MHz que corresponderia ao canal 37 é atribuída ao serviço de radioastronomia.

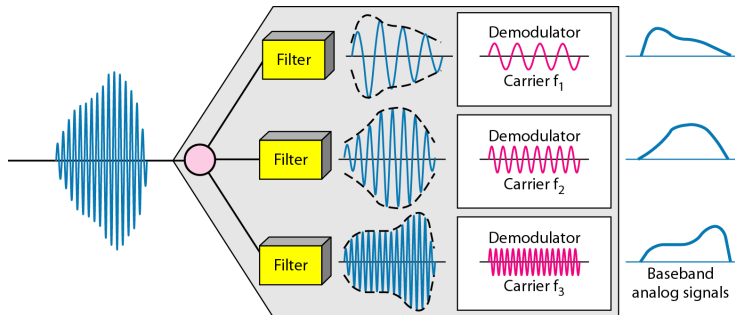
Multiplexação FDM

- O canal disponível é dividido em subcanais de frequência separados, chamados de “bandas de frequência”. Cada banda é atribuída a um sinal específico. Estas bandas são espaçadas por intervalos chamados de *guard bands* (faixas de guarda), que evitam interferências entre sinais adjacentes.
- Os sinais modulados em frequência diferentes são combinados em um transmissor e enviados simultaneamente através do canal compartilhado (ex.: cabo, fibra óptica, ou ar).
- O receptor separa os sinais ao filtrar cada banda de frequência correspondente. Cada sinal é demodulado para recuperar os dados originais.

Multiplexação FDM – Multiplexação

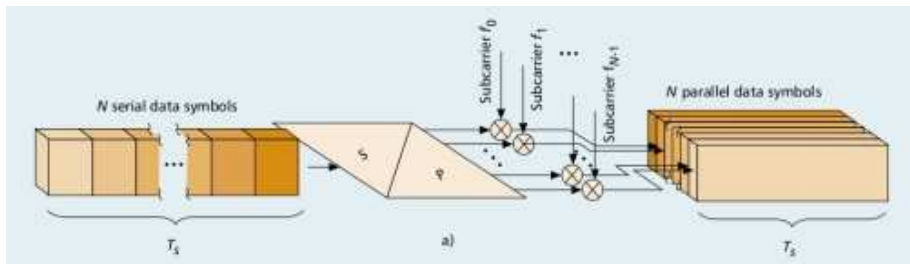


Multiplexação FDM – Demultiplexação



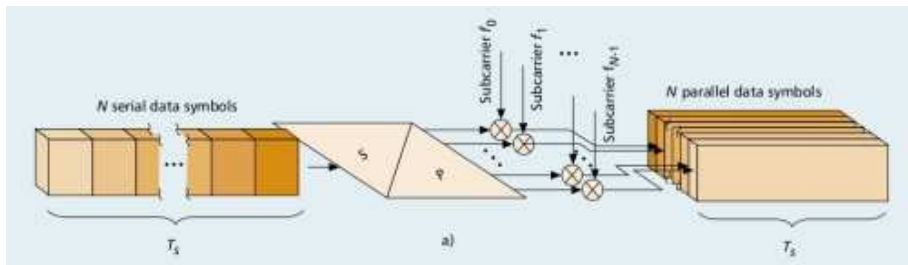
OFDM

A Multiplexação por Divisão Ortogonal de Frequência (OFDM) é um tipo de FDM onde o canal de comunicação é dividido em múltiplas subportadoras de frequência para serem usadas para transmitir os dados de forma paralela, aproveitando ao máximo a largura de banda disponível. Essas subportadoras são ortogonais entre si, isso garante que, mesmo estando muito próximas em frequência, as subportadoras não interfiram entre si.



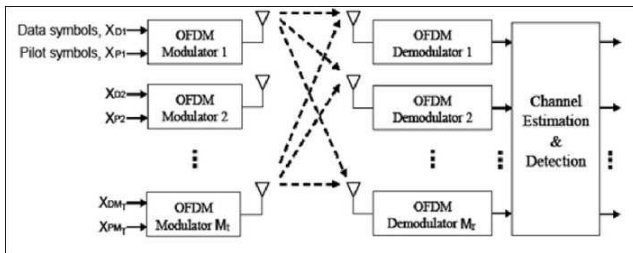
OFDM

O princípio básico da OFDM é a conversão de um fluxo de dados serial em múltiplos sub-fluxos paralelos. Após a conversão serial-paralelo, cada sub-fluxo de dados é modulado em uma subportadora (frequência) diferente, o que resulta em uma alta taxa de transmissão de dados.



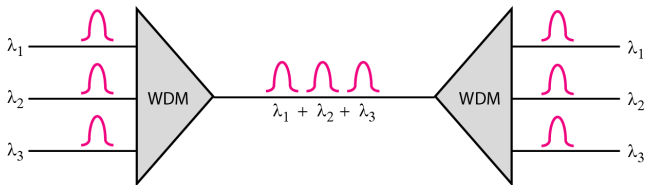
MIMO-OFDM

A combinação de MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) e OFDM resulta em uma solução muito eficiente para comunicação sem fio. MIMO-OFDM aproveita os benefícios de ambos: MIMO aumenta a capacidade de comunicação ao usar múltiplas antenas, enquanto OFDM maximiza a eficiência espectral ao dividir os dados em múltiplas subportadoras. Como resultado transmite em paralelo em várias antenas e em altas velocidades.



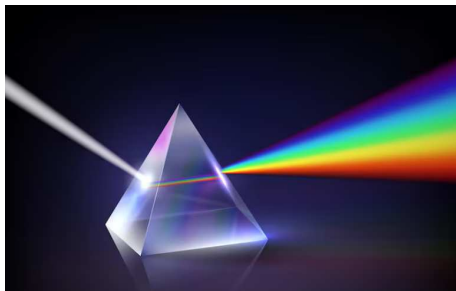
Multiplexação WDM

WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), ou Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda, é uma tecnologia usada em sistemas de comunicação óptica para transmitir vários sinais simultaneamente por uma única fibra óptica. Cada sinal é transportado por uma luz com um comprimento de onda diferente, permitindo que a capacidade da fibra seja significativamente aumentada.



Multiplexação WDM

Cada canal de dados (voz, vídeo, internet, etc.) é modulado em uma portadora óptica com um comprimento de onda específico e que não cause interferência. Um multiplexador óptico combina esses diferentes comprimentos de onda em um único feixe de luz, que é transmitido pela fibra óptica. No receptor, um demultiplexador óptico separa os sinais individuais de acordo com seus comprimentos de onda para processá-los separadamente.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

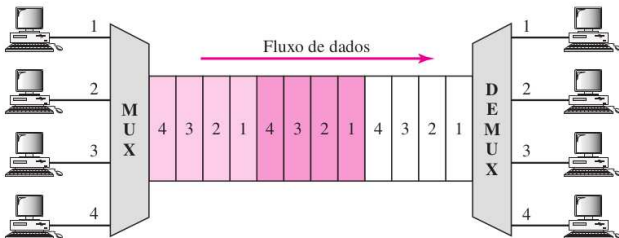
Existem duas variantes principais do WDM:

- CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*): usado em aplicações de menor custo, menor consumo de energia e menor alcance. Quantidade menor de canais (tipicamente 18 canais) com espaçamento entre comprimentos de 20 nm.
- DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*): mais sofisticado, usado para longas distâncias e maior capacidade. Possuimos mais canais, até 128 canais em um único feixe, com espaçamento de 0,4 nm.



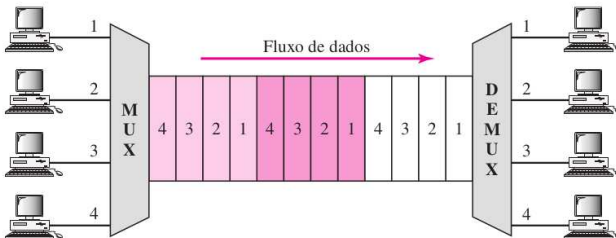
Multiplexação TDM

O TDM (*Time Division Multiplexing*), ou Multiplexação por Divisão de Tempo, é uma técnica de multiplexação digital usada em sistemas de comunicação para transmitir múltiplos sinais alternando entre eles no domínio do tempo. Em vez de transmitir os sinais simultaneamente, o canal é dividido em intervalos de tempo (slots), e cada sinal ocupa um slot específico.



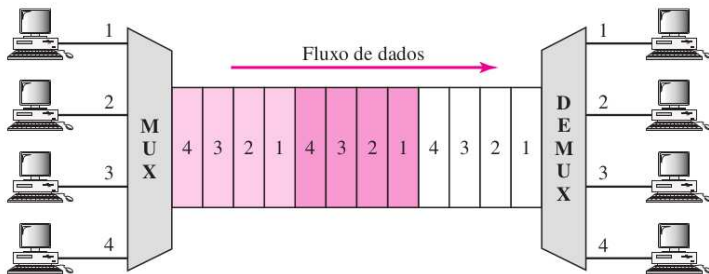
Multiplexação TDM

O canal de comunicação é dividido em pequenos intervalos de tempo (time slots). Cada intervalo é alocado a um sinal específico. Os sinais de diferentes fontes são transmitidos alternadamente, preenchendo os slots de forma cíclica. Para que o sistema funcione corretamente, é essencial que o transmissor e o receptor estejam sincronizados, garantindo que cada sinal seja transmitido e recebido no intervalo correto.



Multiplexação TDM

No receptor, o sinal multiplexado é recebido e separado novamente em seus componentes individuais. Cada slot de tempo é direcionado para o sinal de destino correto.



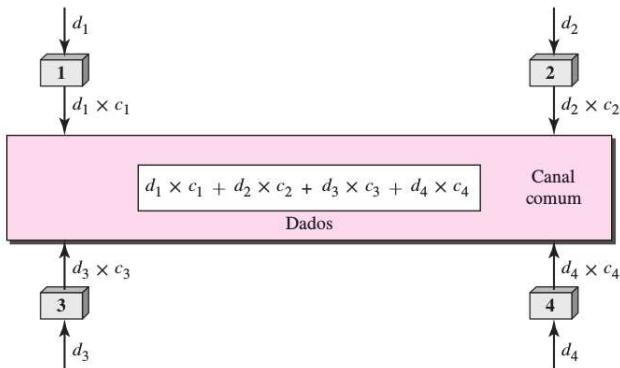
Multiplexação CDM

O CDM (*Code Division Multiplexing*), ou Multiplexação por Divisão de Código, é uma técnica de multiplexação usada em sistemas de comunicação sem fio (3G e GPS), onde múltiplos sinais são transmitidos simultaneamente no mesmo canal de frequência e no mesmo tempo, mas diferenciados por códigos únicos atribuídos a cada sinal.

Cada sinal transmitido é combinado com um código único (um código de espalhamento). Este código serve como um identificador que separa os diferentes sinais. No receptor, o mesmo código é aplicado para recuperar os dados originais. Sinais que usam outros códigos são ignorados, pois não correlacionam com o código esperado.

Multiplexação CDM

Suponha que tenhamos quatro estações 1, 2, 3 e 4 conectadas ao mesmo canal. A cada estação é atribuída um código (c_x).



Multiplexação CDM

Os códigos tem duas propriedades:

- Se multiplicarmos cada código por outro, temos 0.
- Se multiplicarmos cada código por si mesmo, obtemos o número de estações (no nosso caso 4).

$$c_1 \times c_2 = c_1 \times c_3 = c_1 \times c_4 = c_2 \times c_3 = c_3 \times c_4 = 0$$

$$c_1 \times c_1 = c_2 \times c_2 = c_3 \times c_3 = c_4 \times c_4 = 4$$



Multiplexação CDM

Qualquer estação que quiser receber dados de uma das outras três estações multiplica os dados no canal pelo código do emissor. Suponha, por exemplo, a estação 2 quer ouvir o que a estação 1 está dizendo. Ela multiplica os dados no canal por c_1 , o código da estação 1, e depois divide o resultado por 4 para obter dados da estação 1.

$$\text{dados} = (d_1 \times c_1 + d_2 \times c_2 + d_3 \times c_3 + d_4 \times c_4) \times c_1$$

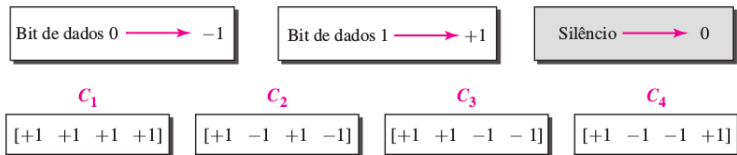
$$= d_1 \times c_1 \times c_1 + d_2 \times c_2 \times c_1$$

$$+ d_3 \times c_3 \times c_1 + d_4 \times c_4 \times c_1 = 4 \times d_1$$

$$\frac{4 \times d_1}{4} = d_1$$

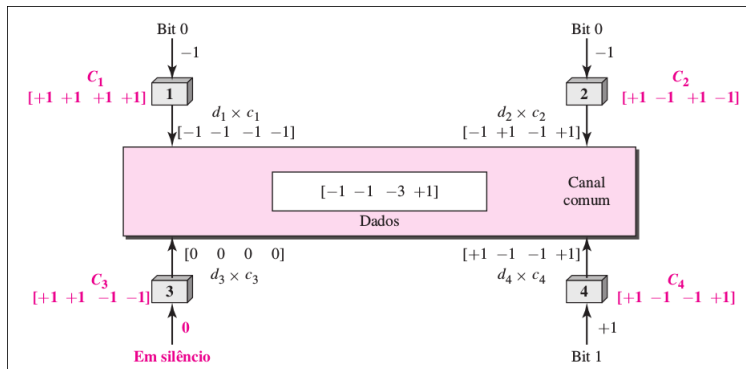
Multiplexação CDM

Por exemplo, considere a representação dos dados e os códigos abaixo. Iremos assumir que as estações 1 e 2 estão enviando um bit 0 e o canal 4 está enviando um bit 1. A estação 3 está em silêncio.

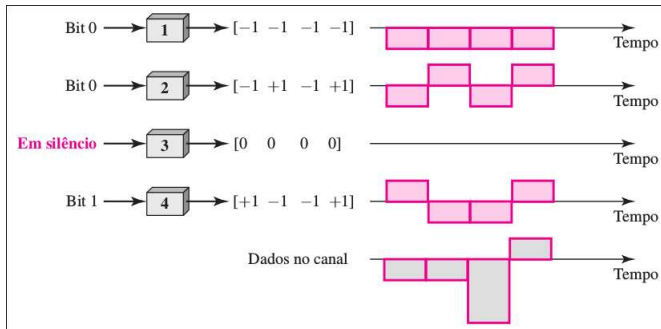


Multiplexação CDM

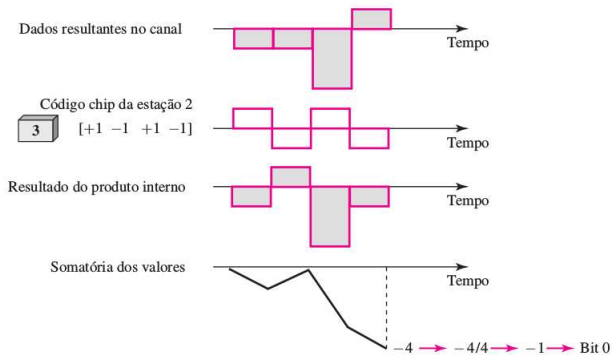
Imagine agora que a estação 3, que dissemos que está em silêncio, esteja ouvindo a estação 2. A estação 3 multiplica a totalidade dos dados no canal pelo código chip da estação 2 que é $[+1 -1 +1 -1]$



Multiplexação CDM



Multiplexação CDM



$$[-1 \ -1 \ -3 \ +1] \times [+1 \ -1 \ +1 \ -1] = -4/4 = -1$$

$$-1 = \text{bit0}$$



Implementações e Multiplexações

Implementação	Multiplexações
IEEE 802.11a	OFDM
IEEE 802.11g	ERP-OFDM (Extended Rate Physical - OFDM)
IEEE 802.11n	MIMO-OFDM com até 4 antenas
IEEE 802.11ac	MIMO-OFDM com até 8 antenas
GPON ¹ e Sonet	WDM
3G	CDM
4G	MIMO-OFDM com até 4 antenas
4,5G	MIMO-OFDM com até 8 antenas
5G	Massive MIMO-OFDM

¹Gigabit Passive Optical Network



Dúvidas



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE