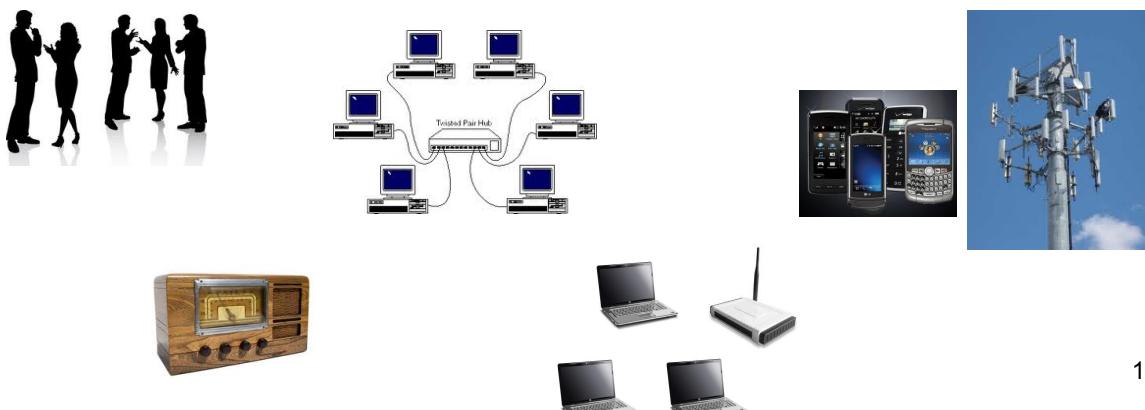




III. MULTIPLEXAGEM

- Quando um canal possui **uma capacidade muito superior ao débito de uma fonte**, pode utilizar-se o canal para transportar os sinais de várias fontes, ou seja **multiplexar** o canal



1



III. MULTIPLEXAGEM

- Quando um canal possui **uma capacidade muito superior ao débito de uma fonte**, pode utilizar-se o canal para transportar os sinais de várias fontes, ou seja **multiplexar** o canal
- **Como?** Várias técnicas, neste capítulo são referidas duas das principais:
 - multiplexagem **por divisão de tempo (TDM)**
 - multiplexagem **por divisão de frequência (FDM)**
 - soluções híbridas (e.g. TDM + FDM)
 - muitas variantes de TDM e FDM
 - ... e outras técnicas

2



III. MULTIPLEXAGEM

FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

- Técnica em que cada fonte ocupa uma **fracção da largura de banda** disponível durante **todo o tempo**
- Método mais antigo
- Método que surgiu inicialmente associado à transmissão analógica
- Exemplo:
 - transmissão e sintonização de estações de rádio; espaço livre constitui o meio comum de transmissão que é multiplexado em frequência

3



III. MULTIPLEXAGEM

TDM (*Multiplexagem por Divisão de Tempo*)

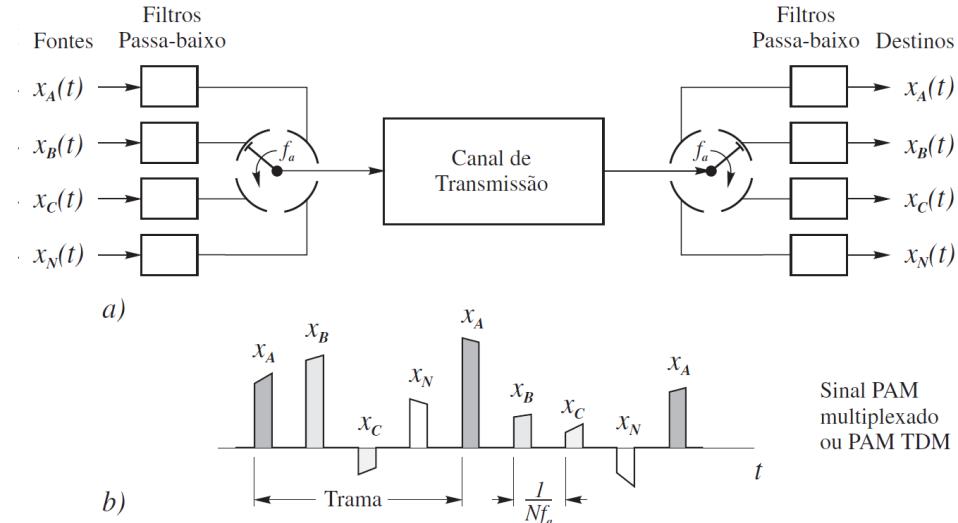
- Cada fonte ocupa **toda a largura de banda** disponível durante **parte do tempo**
- Ganhou relevância com a crescente **digitalização** das comunicações (porquê?)
- Mais apropriado para transmissões digitais
- Diferentes tipos de TDM
 - com diferentes características e aplicações
 - a ver mais tarde....

4



III. MULTIPLEXAGEM

TDM - Exemplo de Multiplexagem por Divisão de Tempo

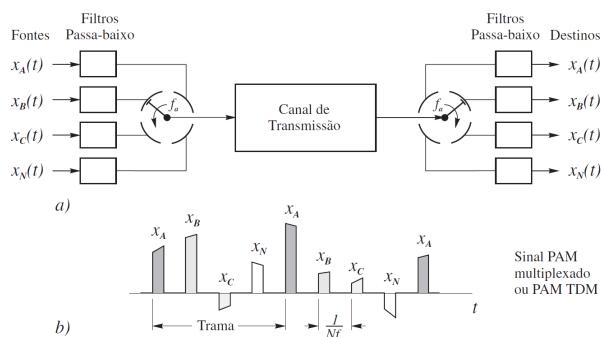


5



III. MULTIPLEXAGEM

- Se neste exemplo todas as fontes produzirem sinais com a mesma largura de banda (B) comutador deverá rodar a ao ritmo $f_a \geq 2B$
- Neste exemplo uma **trama** será um conjunto, ordenado no tempo, com uma amostra de cada entrada
- Ritmo de pulsos PAM no canal será de $r_c = N \cdot F_a \geq N \cdot 2 \cdot B$
- [se fosse considerado o processo digitalização completo] no canal estariam os **bits** representativos de cada uma das amostras



6

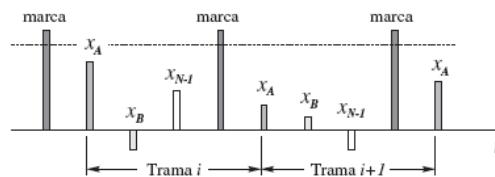


III. MULTIPLEXAGEM

TDM

- **Noção de sincronização**

- No exemplo anterior, corresponde à necessidade de cada amostra ser entregue ao destino correcto no instante devido
- **Necessidade da existência de marcas** entre cada grupo de amostras ou tramas
- No contexto do exemplo anterior:



7



III. MULTIPLEXAGEM

TDM

- **Noção de Canal Virtual (ou lógico)**

- O canal de transmissão é visto como a agregação de vários **canais virtuais**
- cada canal virtual é um par emissor-receptor
- No contexto do exemplo anterior:



8



III. MULTIPLEXAGEM

TDM

Exemplo antes apresentado: os símbolos são contíguos no tempo; ocorrem sem interrupção; se fonte deixa de transmitir os intervalos de tempo que lhe estão atribuídos tem de decorrer porque



1. TDM Síncrono

Assume a **ordenação temporal e continuidade dos canais** (i.e. cada canal tem um “espaço” próprio reservado para transmitir os seus dados)

9



III. MULTIPLEXAGEM

TDM

2. TDM Assíncrono

- Quando não se exige ordenação nem continuidade
- Em muitos cenários melhor desempenho devido ao **aproveitamento do tempo desperdiçado por alguns canais**
- Multiplexadores estatísticos seguem esta filosofia
- Processo também designado por **Multiplexagem Estatística**



III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

- Como se estruturam as tramas?
[a) organização das tramas]
- Como se deteta o inicio de uma trama?
[b) alinhamento de tramas]
- Como se integra informação de controlo nas tramas?
[c) sinalização]
- Exemplos concretos?
[e.g. d) hierarquias de multiplexagem PDH e SONET]

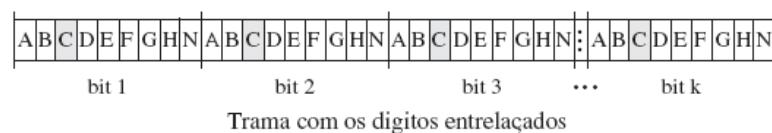
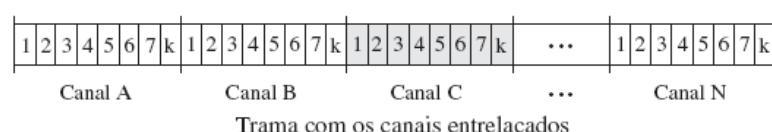
11



III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

- **Organização das tramas** que multiplexam diversos canais binários após digitalização das fontes
- Trama multiplexa **N canais** básicos de **K** bits
- trama organizada em: **canais entrelaçados** ou **dígitos entrelaçados**



12



III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

ALINHAMENTO DAS TRAMAS

- Necessidade de detecção do início da trama - **alinhamento da trama**
- Utilização de um **determinado padrão de vários bits** transportados pela trama
- Quando o receptor perde o alinhamento de trama:
 - **procura esse padrão** de bits de modo a **realinhar** num curto intervalo de tempo
 - diz-se que o receptor está em *modo caça*

13



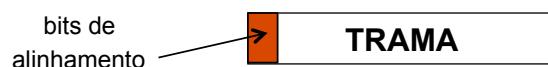
III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

ALINHAMENTO DAS TRAMAS

PADRÃO AGRUPADO

Os bits de alinhamento formam um **conjunto consecutivo** no início da trama



PADRÃO DISTRIBUÍDO

Os bits de alinhamento são **espalhados** pela trama e ao longo de várias tramas



14



III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

SINALIZAÇÃO

- Consiste na transmissão de **informação auxiliar** entre os equipamentos de multiplexagem para efeitos de controlo ou informação auxiliar dos próprios canais
- Informação de sinalização possui semântica própria (comandos, confirmações etc.)
(ao contrário da informação transportada entre as fontes e destinos que é transferida de forma transparente)

15



III. MULTIPLEXAGEM

Alguns Fundamentos TDM SÍNCRONO

SINALIZAÇÃO - exemplos

- **IN-BAND**
Dentro do Octeto – bit menos significativo do octeto é usado (a cada X octetos) para sinalização; utilização problemática para a transmissão de dados no canal
- **OUT-BAND**
Fora do Octeto – a cada canal de informação estão atribuídos um ou mais dígitos de sinalização, num canal separado, mediante regras de atribuição pré-estabelecidas
- **CANAL COMUM**
Reservado um canal por trama para sinalização o qual é atribuído ocasionalmente de acordo com as necessidades a um ou outro canal (uso de etiquetas para identificação do canal a que dizem respeito).

16



III. MULTIPLEXAGEM TDM SÍNCRONO

primeiros sistemas de multiplexagem... consequência da digitalização!

- **Sistemas de Multiplexagem PCM**

Primeira forma de TDM apareceu com a **digitalização** PCM do sistema telefónico com a preocupação de transmissão de voz

- **Outras estruturas de Multiplexagem SDH, SONET**

Sistemas de multiplexagem melhor adaptados à transmissão de sinais de informação multimédia modernos, contemplar tecnologia óptica, visam obtenção de débitos mais elevados, permitir melhor operação e manutenção dos sistemas de multiplexagem

17



III. MULTIPLEXAGEM

Sistemas de Multiplexagem PCM

- Necessidade de uniformizar os diversos parâmetros (ritmo, canais, sinalização, etc...) levou à **normalização da multiplexagem PCM**
- Normas Americanas e Europeias especificadas em recomendações da ITU (International Telecommunications Union)
 - » Trama PCM primária de 2 Mbps (sistema Europeu)
 - » Trama PCM primária de 1.5 Mbps (sistema Americano)
 - » Hierarquias de Multiplexagem

18



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo - Trama PCM Primária de 2 Mbps

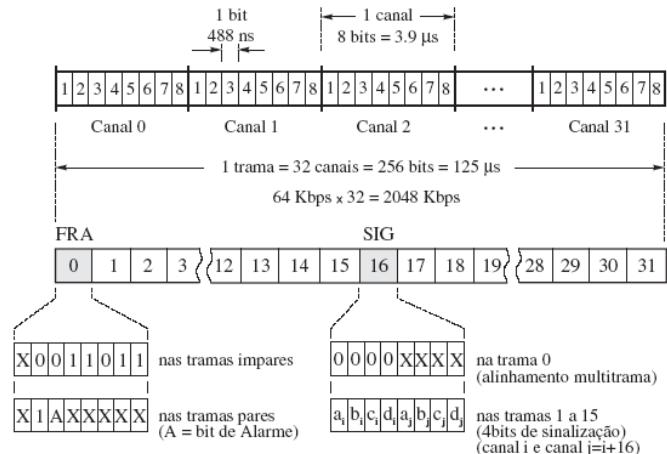


Figura 6.6: Estrutura da trama de multiplexagem PCM de 2 Mbps

19



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo - Trama PCM Primária de 1.5 Mbps

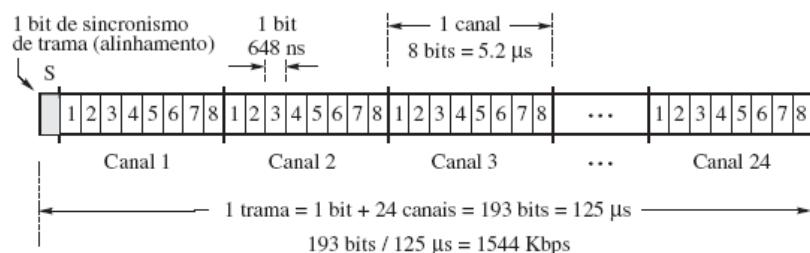


Figura 6.9: Estrutura da trama de multiplexagem PCM de 1.5 Mbps

20

III. MULTIPLEXAGEM

Hierarquia de Multiplexagem PDH

- Para multiplexar um maior número de canais básicos do que aquele que o sistema primário admite recorre-se à **hierarquização de multiplexadores** (cascata de multiplexadores)
- As saídas dos multiplexadores de primeira ordem são multiplexadas em multiplexadores de segunda ordem, e assim sucessivamente
- Estes procedimentos de **hierarquias de multiplexagem** são normalizados, e.g. **hierarquia PDH**

21

III. MULTIPLEXAGEM

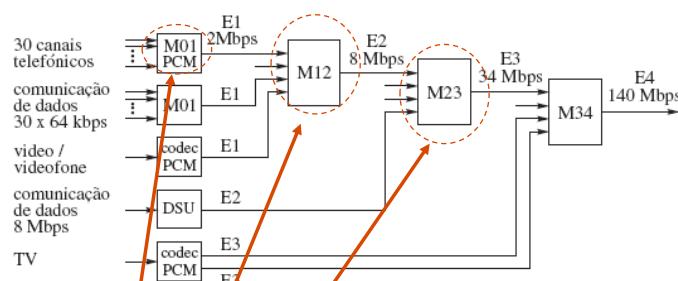


Figura 6.11: Exemplo de uma multiplexagem PDH Europeia

Tabela 6.1: Hierarquias de Multiplexagem PDH

ordem dos multiplexadores	Sistema Europeu ITU-T G.732			Sistema Americano ITU-T G.733		
	Entradas	Ritmo de saída (Kbps)	Entradas	Ritmo de saída (Kbps)		
1	30	2 048	E1	24	1 544	T1
2	4	8 448	E2	4	6 312	T2
3	4	34 368	E3	7	44 736	T3
4	4	139 264	E4	6	274 176	T4
5	4	564 992	E5			

22



III. MULTIPLEXAGEM

Outras Hierarquias de Multiplexagem - SDH, SONET

- Motivadas pela necessidade de **repensar e melhorar** as normalizações TDM anteriores
- Motivadas pela **evolução** e crescente disponibilidade da **tecnologia óptica**
- Objectivo da continuação da hierarquia até e para além do **gigabit** por segundo (Gbps)
- Necessidade de **enriquecer a estrutura de sinalização** para melhorar serviços de administração

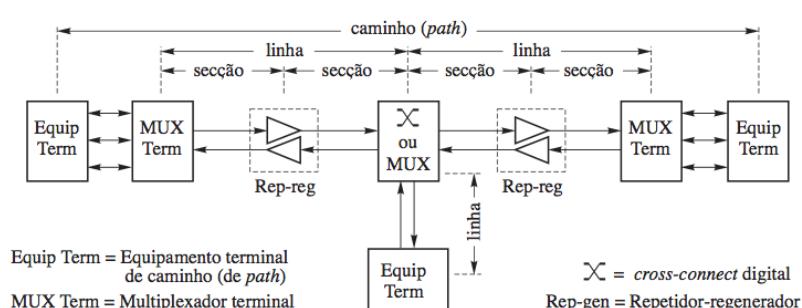
23



III. MULTIPLEXAGEM

SDH, SONET

- Sistema SDH/SONET constituído por multiplexadores, repetidores/regeneradores, comutadores...



e.g. Fibra óptica ininterrupta que interliga quaisquer dos dispositivos designada por **secção**; trajecto entre dois mux. (com ou sem repetidores) designado por **linha**; trajecto entre equipamentos terminais designado por caminho/**path**

24



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo de Trama Básica SONET

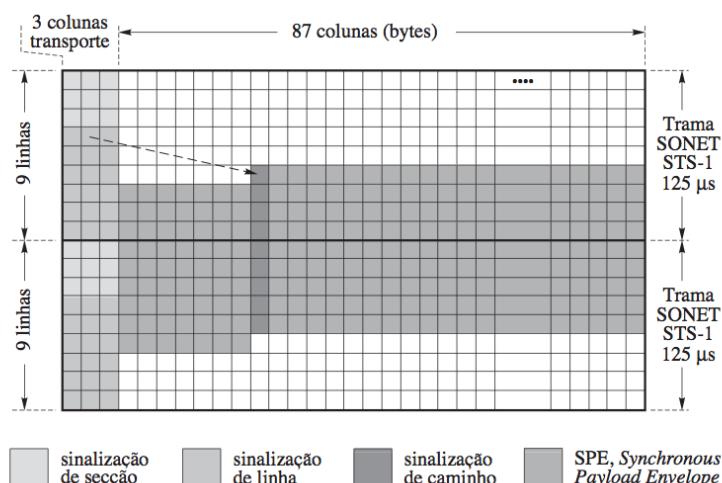
- Tramas constituídas por blocos de 810 bytes
- Duração 125 microseg. (coincide com o período de amostragem PCM)...
- 8000 tramas por segundo
- Tramas podem vistas como uma matriz de bytes (90 colunas, 9 linhas)
- $90 * 9 = 810$ bytes * 8000 = 51.84 Mbps ritmo do canal básico SONET cuja trama é designada por **STS-1**
- Todos os restantes ritmos SONET são múltiplos do STS-1

25



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo de Trama Básica SONET (STS-1)



26



III. MULTIPLEXAGEM

Hierarquias de Multiplexagem SDH/SONET

- SONET: Sinal $STS-i$ transmitido sob forma óptica designado por $OC-i$; SDH: Só aplicado ao contexto de sinais ópticos

Tabela 6.2: Hierarquias de Multiplexagem SDH e SONET

SONET		SDH	Ritmo binário (Mbps)		
Eléctrico	Óptico	Óptico	Bruto	SPE	Útil
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728

etc..... etc

Nota:

- só alguns dos níveis identificados na tabela é que são mais frequentemente usados
- existem mais níveis, exemplo: OC-768 com débito de aprox. 40 Gbps

27



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo de um cenário de multiplexagem SDH

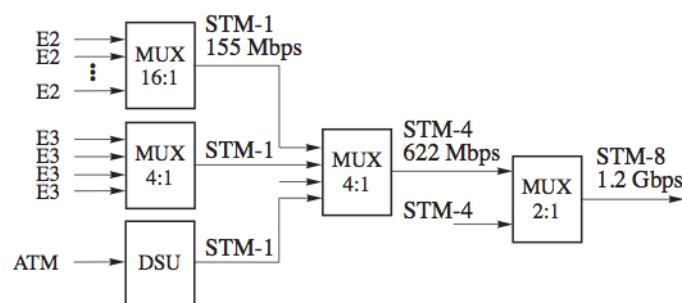


Figura 6.17: Multiplexagem hierárquica SDH

28

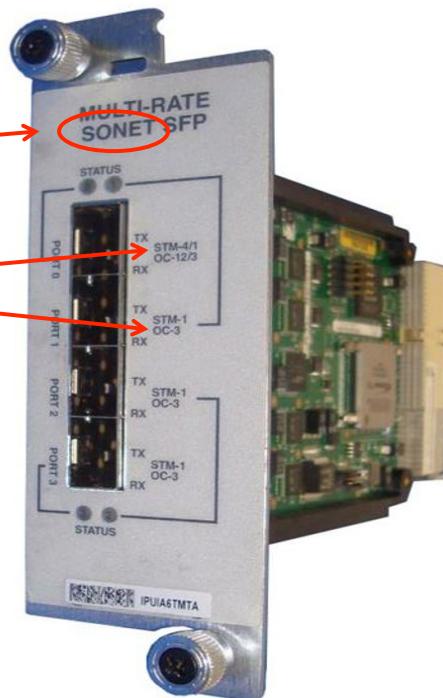


III. MULTIPLEXAGEM

750-014637 Juniper 4-Ports Sonet
OC3/OC12 Interface Card

Tabela 6.2: Hierarquias de Multiplexagem SDH e SONET

Eléctrico	Óptico	Óptico	Ritmo binário (Mbps)		
			Bruto	SPE	Útil
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728



III. MULTIPLEXAGEM

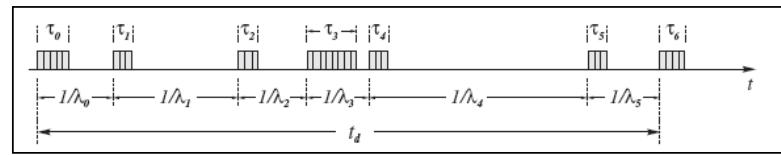
TDM ESTATÍSTICO

- Multiplexagem síncrona mais apropriada para transmissão digitalizada de fontes que produzem informação a um **ritmo constante**, sem interrupções
- Existem cenários em que tal não é usual
- Tráfego produzido pelas aplicações computacionais é muitas vezes de **natureza aleatória** (tráfego Internet?)
- Outros tipos de multiplexagem mais apropriadas?

III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO

- Exemplo de tráfego de natureza aleatória



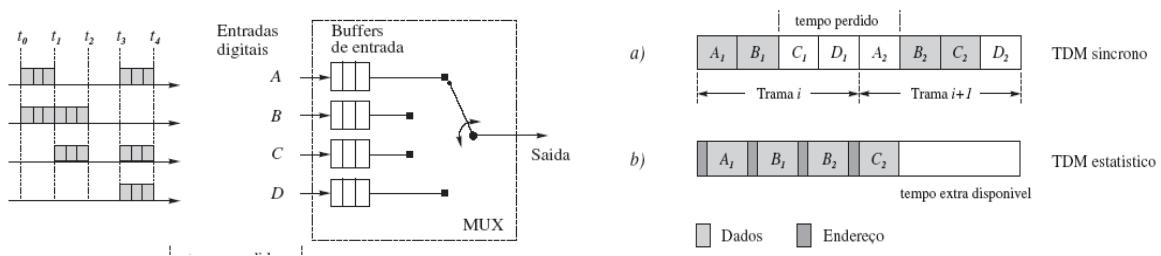
o valor médio de λ_i é o número médio de DUs produzidas por segundo

- Será pois mais vantajoso, nestes casos, a **alocação dinâmica** de ranhuras temporais dependendo se as fontes tem ou não tráfego para enviar

31

III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO vs TDM Síncrono



- TDM estatístico** - nem todos os equipamentos estão a transmitir ao mesmo tempo -> **ritmo de saída pode ser inferior à soma dos rimos das entradas**

32



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO

- Situações de pico de tráfego?
 - tráfego de entrada excede capacidade de saída logo necessidade de *buffers* (**filas de espera**)
 - filas grandes = **atrasos** grandes e filas pequenas = **perdas** (*consequências para diferentes tipos de tráfego?*)
 - ritmo de saída importante para o desempenho do sistema
 - necessidade de estudar comportamento do TDM estatístico com modelos matemáticos
 - **modelos de filas de espera**

33



III. MULTIPLEXAGEM

MODELAÇÃO DE TRÁFEGO

- ~~Modelo de Filas de Espera~~ é identificado pela notação (simplificada) **A/B/m**
 - **A** - distribuição dos tempos entre chegadas
 - **B** - distribuição dos tempos de serviço
 - **m** - número de servidores
- Vamos usar o exemplo **modelo M/D/1** para estudar os multiplexadores estatísticos
 - intervalos entre chegadas seguem uma exponencial negativa ...
 - tempos de serviço determinísticos (fixos) ...
 - 1 servidor ...
 - ... algum problema em assumir este modelo?

Considerando um determinado tamanho (K) para a fila de espera é usual a usar sintaxe A/B/m/K, pode ser ainda referida a população e a disciplina da fila (por defeito FIFO)

34

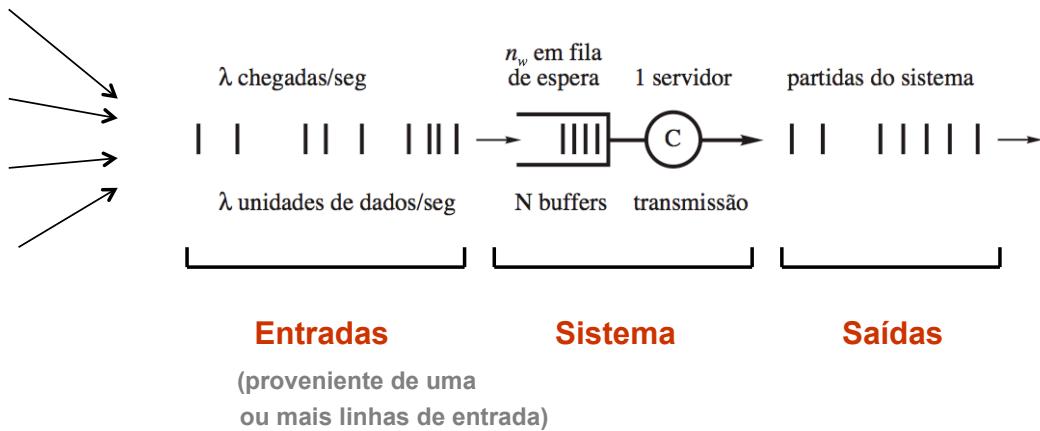


III. MULTIPLEXAGEM

MODELAÇÃO DE TRÁFEGO EM MULTIPLEXADORES ESTATÍSTICOS

exemplo de cenários de redes de comunicações onde este tipo de modelação poderá ser útil?

Modelação por Filas de Espera



35



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Ritmo Médio de Chegadas, λ**
Número médio de mensagens/tramas/pacotes que chegam ao multiplexador por segundo
- Um multiplexador com **N** linhas de entrada; cada uma com um ritmo binário de entrada r_{be} ; tamanho das mensagens (ou DUs) **K**; factor de utilização das linhas (i.e. ocupação média entre 0 (0%) e 1 (100%)) α então:

$$\lambda = N\alpha \frac{r_{be}}{K}$$

- Se linhas de entrada com ritmos e α diferentes:

$$\lambda = [\alpha_1 r_{bel} + \alpha_2 r_{be2} + \dots + \alpha_N r_{beN}] / K$$

36



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Tempo médio de Serviço, \bar{S}**

Tamanho das mensagens (ou DUs - Data units), K bits
Ritmo de Saída em bps, R_{bs}

k e rbs expressos em unidades coerentes, ex: bits e bps ou outras

$$\bar{S} = \frac{k}{r_{bs}} \text{ seg por DU}$$

- **Utilização do Servidor, ρ**

$$\rho = \lambda \bar{S}$$

se $\rho < 1$ então sistema em equilíbrio
e caso contrário?

37



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – MODELO M/D/1

- **Tempo médio de atraso de uma DU no multiplexador**

$$\bar{t}_q = \bar{S} + \frac{\rho \bar{S}}{2(1 - \rho)}$$

em fila $\rightarrow \bar{t}_w$

- **Número médio de DUs no multiplexador**

$$\bar{n}_q = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$$

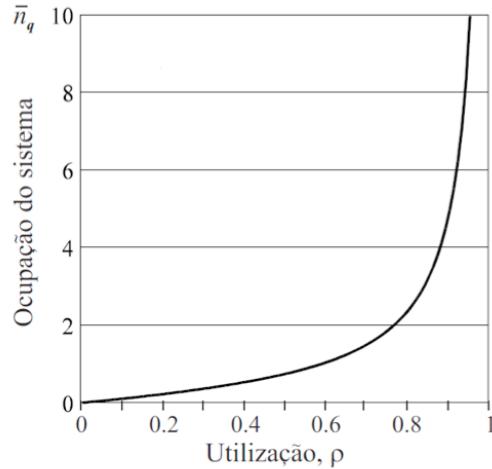
em fila $\rightarrow \bar{n}_w$

38



III. MULTIPLEXAGEM

MODELO M/D/1 - Exemplo de Resultados

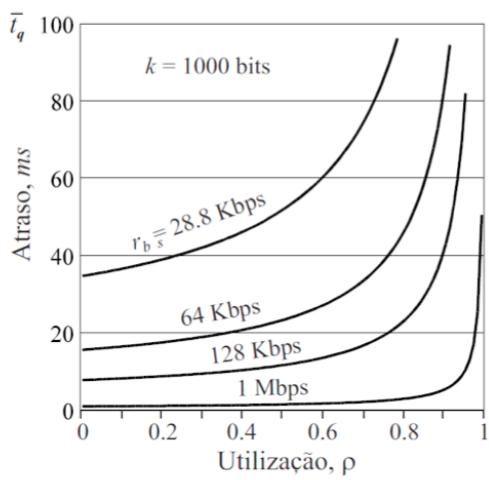


39



III. MULTIPLEXAGEM

MODELO M/D/1 - Exemplo de Resultados



40



III. MULTIPLEXAGEM

- Com as formulas apresentadas anteriormente é possível obter **valores médios** para a ocupação dos *buffers*
- No entanto durante a operação do multiplexador os valores de ocupação podem exceder bastante a média
- Como obter valores para as **probabilidades de sobrelocação** para um **determinado tamanho de buffer**?

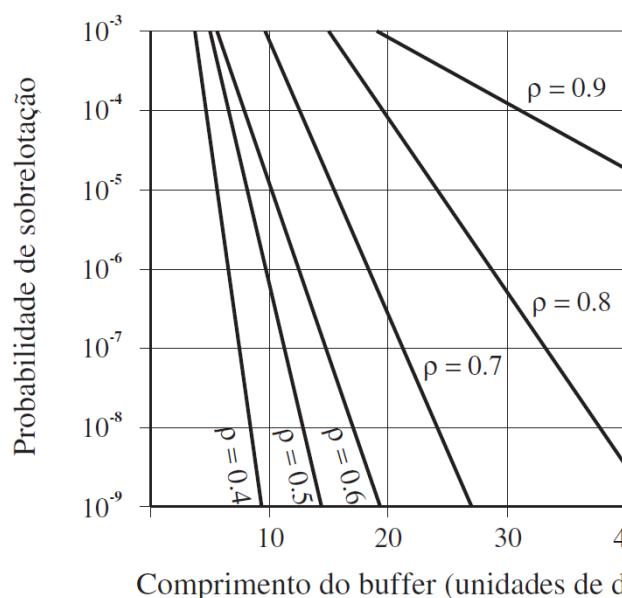
[exemplos/aplicações práticas disto]

41



III. MULTIPLEXAGEM

MODELO M/D/1 - Probabilidade de Sobrelocação



42



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- A base teórica dos modelos de filas de espera é importante para o estudo/implementação de diversos equipamentos de rede
- e.g. Routers – equipamento de interligação de redes
 - os mecanismos de gestão de filas de espera e estratégias escalonamento de pacotes são essenciais para o tratamento dos pacotes
 - ... afectam a forma/qualidade como o tráfego é transmitido na rede

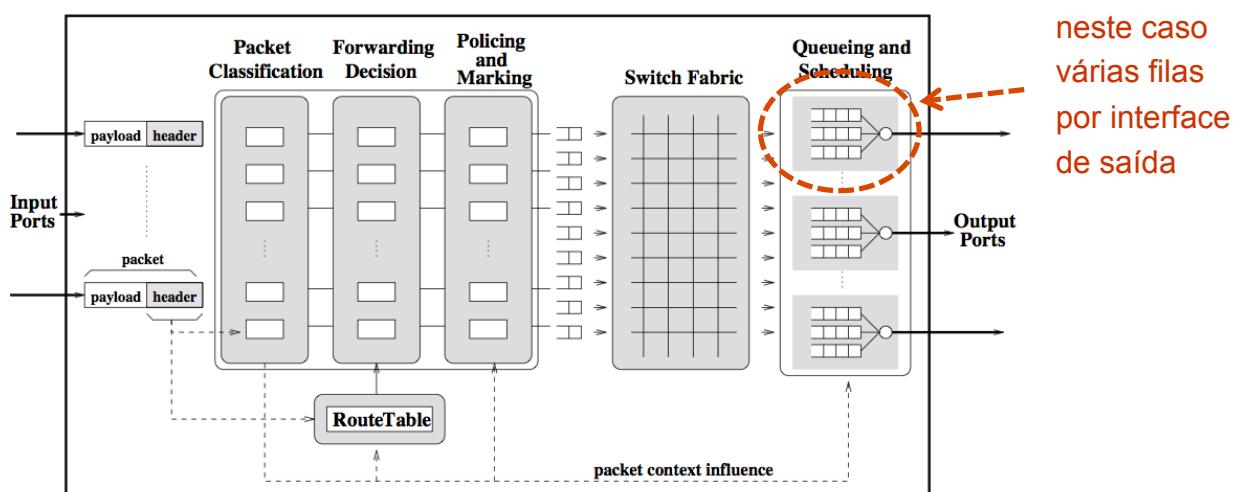
43



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Exemplo (conceptual) de uma arquitetura de um router





III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

- Estratégias de escalonamento e gestão de filas afectam as diferentes classes de tráfego (se existirem)
 - débitos obtidos, perdas, atrasos, ...
 - Relação com a Qualidade de Serviço (QoS) obtida pelas aplicações Internet
 - Existem inúmeras alternativas de estratégias de escalonamento de tráfego e gestão de filas de espera

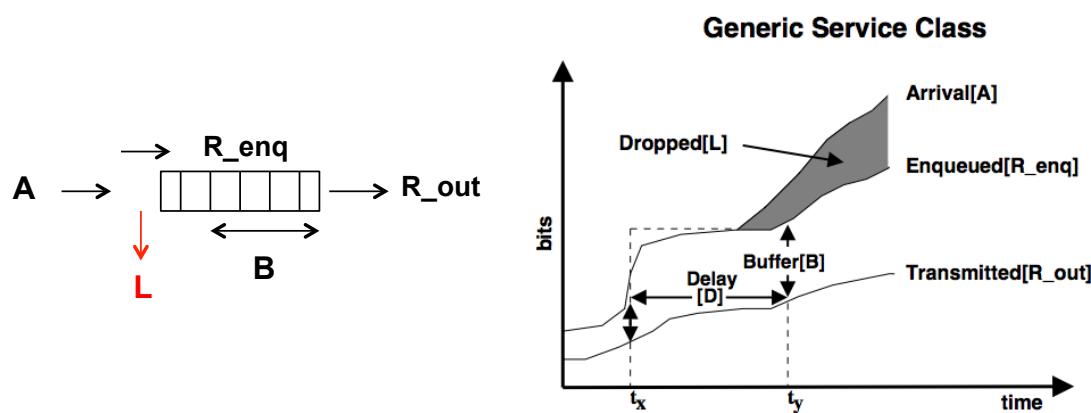
45



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Exemplo do comportamento de uma determinada classe de tráfego



46



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Para conseguir algum tipo de **diferenciação de tráfego** pode ser necessária a utilização:

- estratégias de **gestão de filas espera**
- mecanismos de **escalonamento**

Exemplos/**gestão das filas de espera (buffers)**

- todos os pacotes partilham uma **única fila de espera**
- pacotes de diferentes classes são armazenados em **diferentes filas de espera**

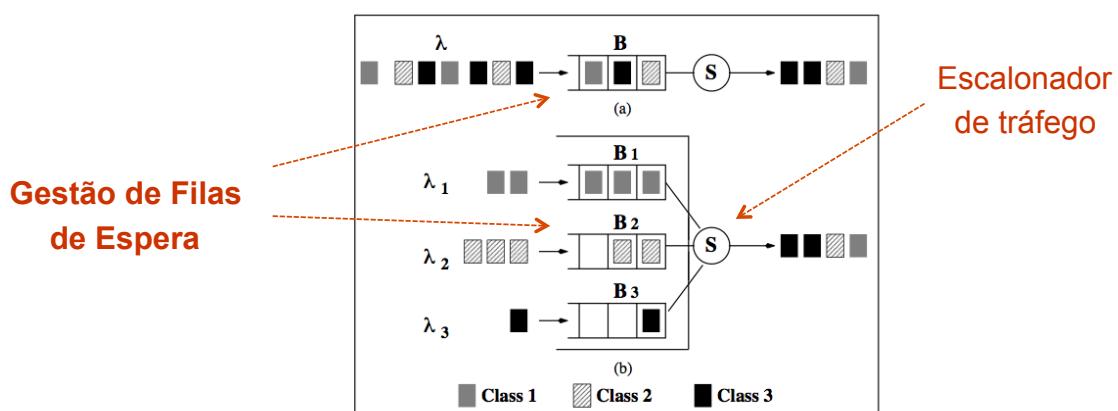
47



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Gestão de filas: fila única versus várias filas de espera
(vantagens/desvantagens ?)



48



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Gestão de filas: como lidar com insuficiência de recursos (i.e. perdas)?

- *drop tail*: fila cheia → pacotes são perdidos
- *push-out*: possibilidade de retirar pacotes que estão em fila → para entarem outros
- ...
- *outras abordagens* ... RED (Random Early Detection) possibilidade de eliminação de pacotes mesmo com fila não cheia

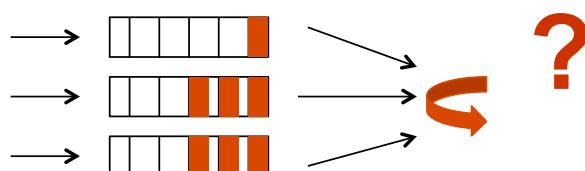
49



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Estratégias de escalonamento de pacotes



Classificação:

- *work conserving*: escalonador só não transmite pacotes no caso das filas estarem vazias
- *non-work-conserving*: em alguns casos o escalonador pode não transmitir mesmo tendo pacotes em fila

50



III. MULTIPLEXAGEM

TDM ESTATÍSTICO – Questões Relacionadas

Estratégias de escalonamento de pacotes

3 exemplo de mecanismos:

- *strict priority*: filas/classes com prioridades mais altas tem sempre prioridade sobre os outros pacotes (consequência?)
- *round robin*: e.g. em cada ciclo transmitir um pacote de cada fila/classe
- *weight fair queuing, weighted round robin, ...*: definição de “pesos” para cada uma das classes/filas → filas/classes são servidas de acordo com esses valores → forma de alocar diferentes débitos de saída a cada uma das classes/filas

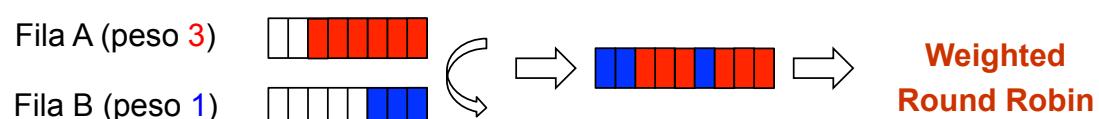
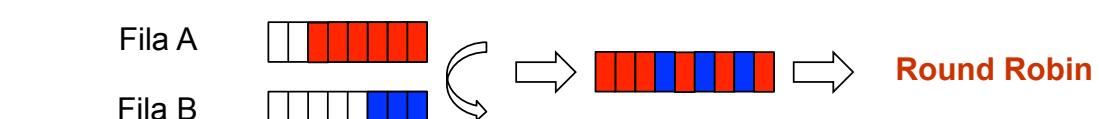
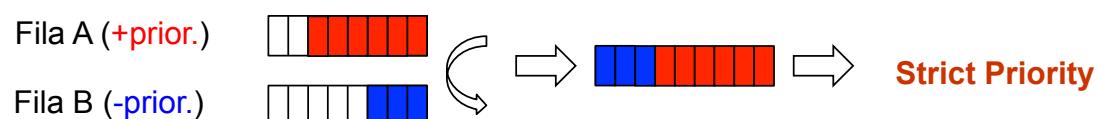
51



III. MULTIPLEXAGEM

Estratégias de escalonamento

[objectivos/consequências/problemas para o tráfego e rede?]





III. MULTIPLEXAGEM

Estratégias de escalonamento

Alguns exemplo de utilização

Exemplo #1

e.g. garantir **atraso mínimo** a uma determinada classe de tráfego [tráfego de voz, tempo de tempo real, etc.]

Exemplo #2

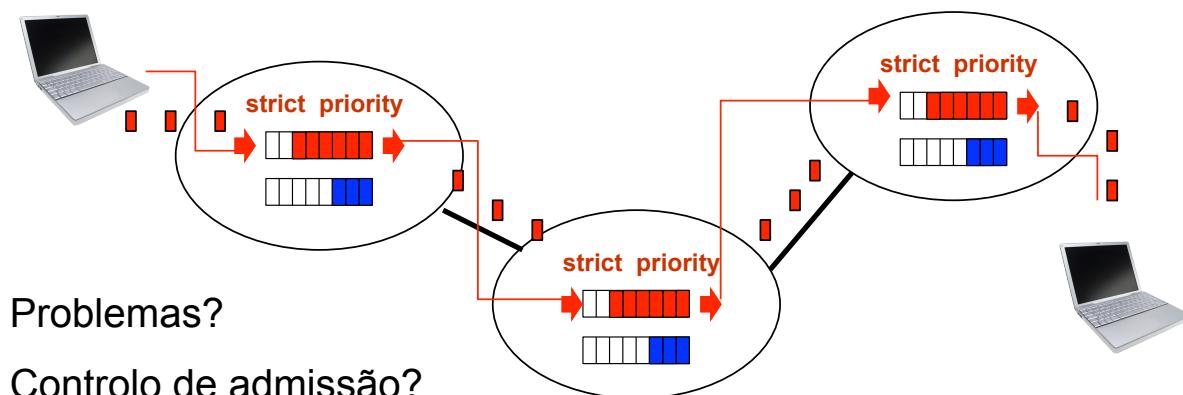
e.g. garantir a uma determinada classe/fila uma **% de débito** no link de saída



III. MULTIPLEXAGEM

Estratégias de escalonamento

Exemplo de cenários #1 e.g. garantir atraso mínimo a uma determinada classe (tráfego de voz, tempo real, etc.)...

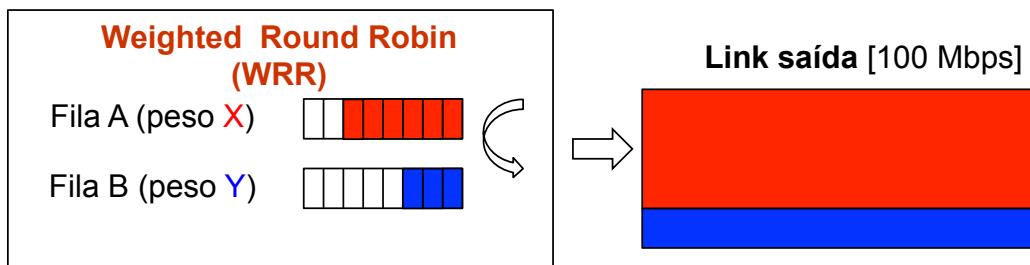




III. MULTIPLEXAGEM

Estratégias de escalonamento

Exemplo de cenários #2 e.g. garantir uma determinada % de débito no link de saída a uma classe/fila



Relação entre X, Y e débito obtido...

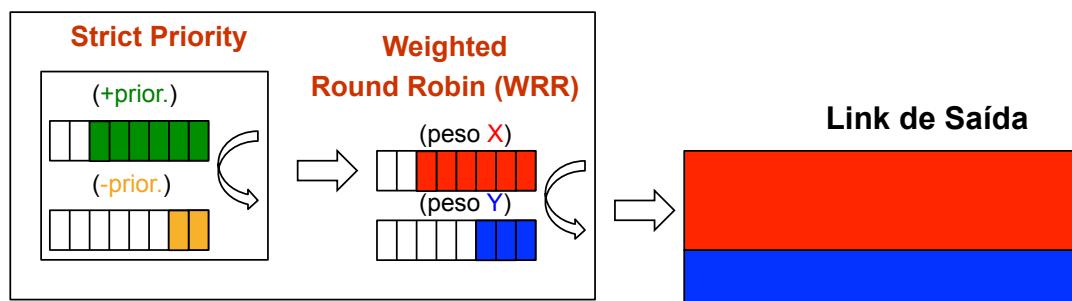
Tamanho pacote variável.... um problema?



III. MULTIPLEXAGEM

Estratégias de escalonamento combinadas/híbridas

Possibilidade de combinar diferentes estratégias



e.g. WRR trabalha com **duas classes** de tráfego e garante uma determinada distribuição do débito; **uma das classes é composta por 2 subclasses** [em que uma tem prioridade absoluta sobre a outra]



III. MULTIPLEXAGEM

FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

- Técnica em que cada fonte ocupa uma **fracção da largura de banda** disponível durante todo o tempo

Contrariamente ao TDM em que cada fonte ocupa toda a largura de banda disponível durante parte do tempo

- Método mais antigo...
- Método que surgiu inicialmente associado à transmissão analógica



III. MULTIPLEXAGEM

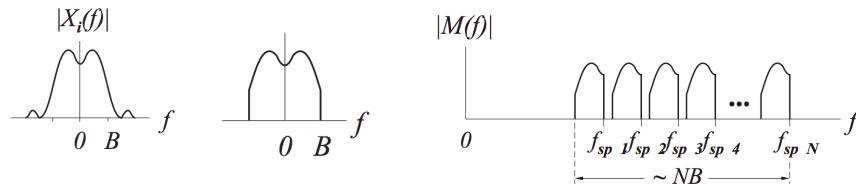
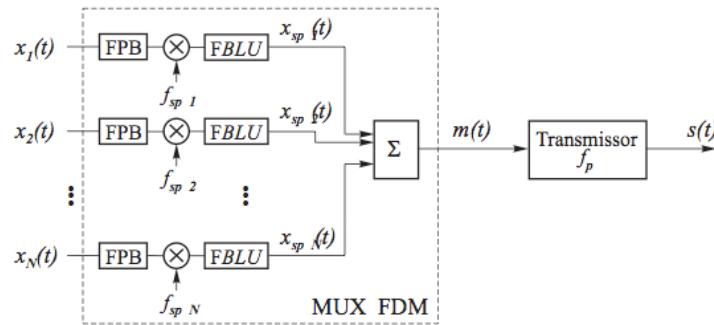
FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

- No mesmo suporte físico coexistem simultaneamente **vários canais FDM**
- Sinais de cada canal são **modulados em portadoras** de diferentes frequências
- Na recepção o sinal composto é apresentado a um conjunto de **N filtros passa banda** que permitem isolar cada uma das suas componentes (canais)
- Em cada canal efectua-se uma **desmodulação** permitindo a recuperação do sinal original desse canal

III. MULTIPLEXAGEM

FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

... na transmissão:

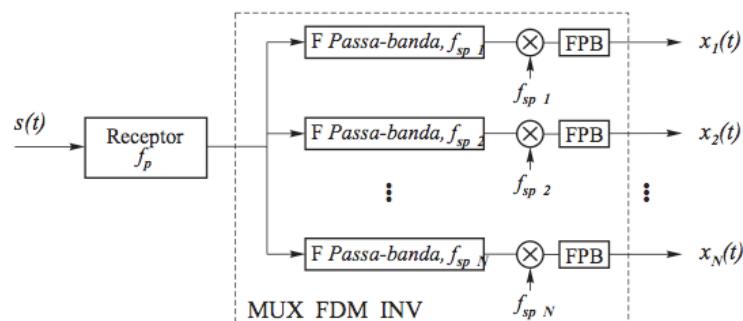


59

III. MULTIPLEXAGEM

FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

... na recepção:



60



III. MULTIPLEXAGEM

FDM (*Multiplexagem por Divisão de Frequências*)

- Tal como no caso do TDM, existem especificações de hierarquias de multiplexagem FDM, exemplo:
 - as que assumem como canal básico de referência o canal de voz (com $B=4\text{KHz}$) ... definindo-se depois vários níveis de hierarquias

Nível 1 – multiplexa 12 canais de 4KHz em sub-portadoras 64, 68, 72,, 108 KHz , resultando num sinal composto com largura de banda = 48KHz

Nível 2 – multiplexa 5 entradas do nível anterior....

Nível 3

....

61



III. MULTIPLEXAGEM

Esquemas combinados FDM/TDM

- Possibilidade da utilização **esquemas híbridos** envolvendo TDM e FDM

Exemplo – comunicação entre uma estação base e diversos dispositivos (utilizadores)

- estação base divide a banda de transmissão disponível do canal em várias **sub-bandas** ...
- temporalmente define também “espaços” temporais (**time slots**) que no seu conjunto formam uma trama
- A cada dispositivo é atribuída uma frequência e *um time slot*

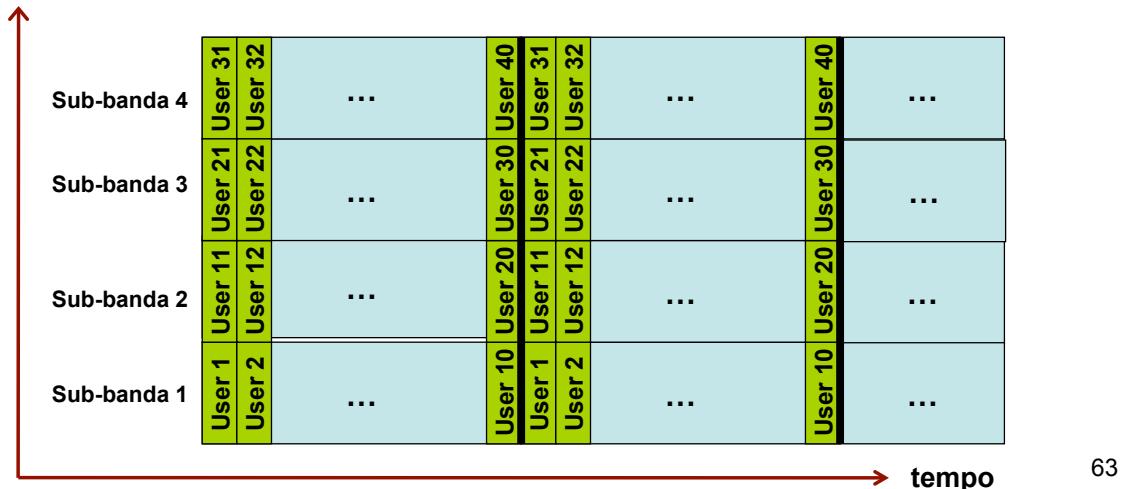
62



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplo - Esquemas combinados FDM + TDM

Esquema resultante da divisão da banda de transmissão em 4 sub-bandas e da divisão temporal em 10 slots por trama



63



III. MULTIPLEXAGEM

Exemplos de outras Técnicas ... (breve referência)

- Alguns métodos de acesso ao canal são baseados noutros paradigmas que não FDM ou TDM ...
- e.g. uma das versões do método de acesso ao canal denominado por **CDMA (Code division multiple access)**
 - possibilidade do canal ser usado por diversos intervenientes **ao mesmo tempo** e na **mesma gama de frequências**... interferência entre as comunicações!! ... mas **de uma forma controlada**
 - cada dispositivo interveniente na comunicação possui um “**código**” que permite codificar (descodificar – na recepção) os dados por si enviados

64



III. MULTIPLEXAGEM

FDM TDM ... utilização de CDMA

- Analogia - imaginar uma sala com vários pares/grupos de pessoas a conversarem....
 - **TDM** - por turnos...fala um par de cada vez ...
 - **FDM** - cada par fala em frequências diferentes ...
 - **CDMA** – cada par fala em *linguagens* diferentes (mesmo que ao mesmo tempo e nas mesmas frequências)
 - só intervenientes que falam a mesma linguagem podem comunicar entre si... não conseguem ententer os outros intervenientes

65

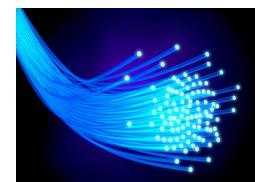


III. MULTIPLEXAGEM

Outras Técnicas de Multiplexagem

Wavelength-division multiplexing (WDM)

(breve referência)



- Utilizado em sistemas de comunicação com **fibras ópticas**
- Permite a transmissão **vários sinais ópticos** sobre a mesma fibra
- Cada sinal (luz) é transmitido utilizando **diferentes comprimentos de onda** (daí que por vezes se refira → diferentes cores)
- **WDM** semelhante ao FDM (frequência e comprimento de onda estão relacionados) mas é um termo mais usado em **contextos de transmissão óptica**

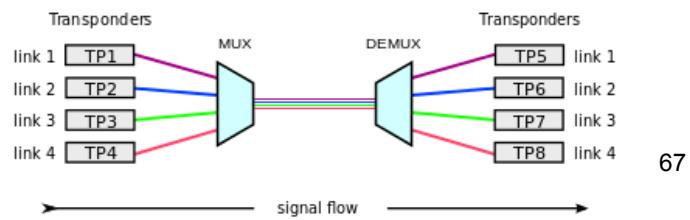
66

III. MULTIPLEXAGEM

Outras Técnicas de Multiplexagem

Wavelength-division multiplexing (WDM)

- Sistemas WDM são comuns nas companhias de telecomunicações pois permitem aumentar a capacidade da rede sem necessidade de acrescentar mais fibra
- ... capacidade dos links pode ser aumentada simplesmente atualizando os multiplexadores (de)multiplexadores nas terminações da fibra



67