
Multiplexagem Digital

- **Multiplexagem digital síncrona**
- **Multiplexagem digital assíncrona**
- **Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)**

Intencionalmente em branco

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos

Alinhamento de trama

Multitrama

Supervisão

Sistemas básicos

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

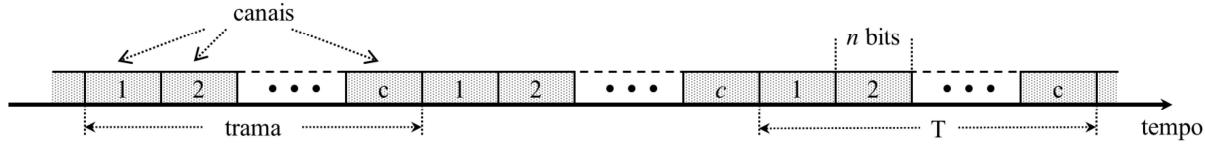
Princípios básicos

Técnica de **multiplexagem por divisão nos tempos** TDM – Time Division Multiplexing

- definem-se **tramas de duração fixa T** constituídas por c intervalos de tempo
- cada canal ocupa ciclicamente na trama um intervalo de n bits
- a **identificação dos canais** é feita pela **posição na trama**

Consequências importantes

- o débito de cada canal é constante
- os relógios dos canais têm de estar sincronizados entre si



$$\text{Débito binário de cada canal} \quad r = n/T \text{ (bit/s)}$$

$$\text{Débito binário total do multiplex} \quad r_{tot} = c n / T \text{ (bit/s)}$$

Multiplexagem por divisão nos tempos

Sistemas de Telecomunicações

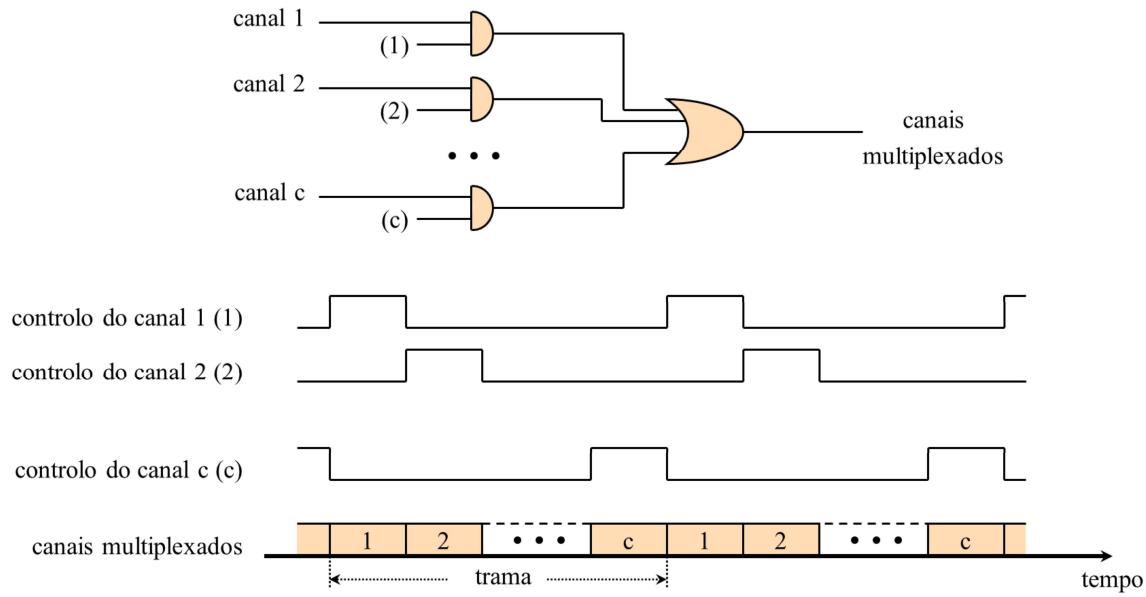
Sistemas de Multiplexagem Digital

A **multiplexagem digital síncrona** baseia-se nos princípios da **multiplexagem por divisão nos tempos**, consistindo na combinação de vários sinais síncronos num único sinal, por entrelaçamento no domínio dos tempos.

A **cada canal de entrada** é atribuído um **intervalo de tempo** à saída que define univocamente a informação do canal no fluxo de bits do sinal multiplexado de saída.

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos



Esquema simplificado de um multiplexador síncrono

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Um **multiplexador** é um circuito que **aceita n canais** à entrada e permite que cada um deles, de cada vez, aceda à saída.

Multiplexagem digital síncrona

Princípios básicos

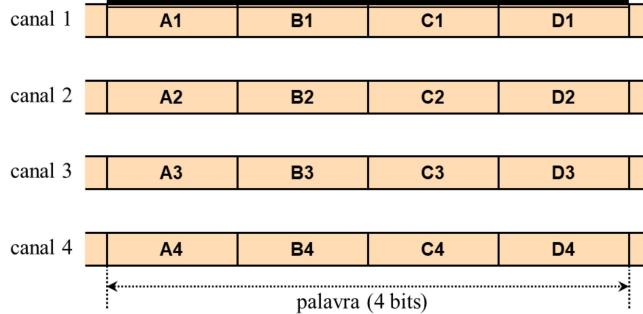
Tipos de entrelaçamento

– entrelaçamento de **palavras**

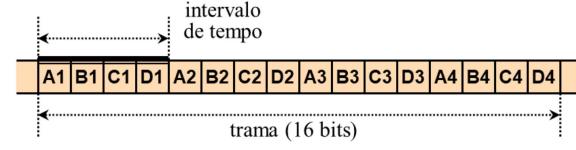
cada **intervalo de tempo** acomoda uma **palavra** do código do sinal de entrada

– entrelaçamento de **bits**

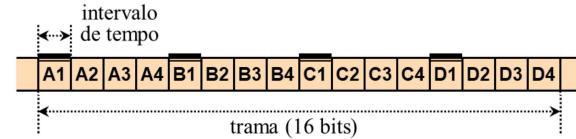
cada **intervalo de tempo** suporta um **único bit** do correspondente sinal de entrada



(a) Canais de entrada do multiplexador



(b) Entrelaçamentos de palavras



(c) Entrelaçamentos de bits

Entrelaçamento de palavras e bits

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

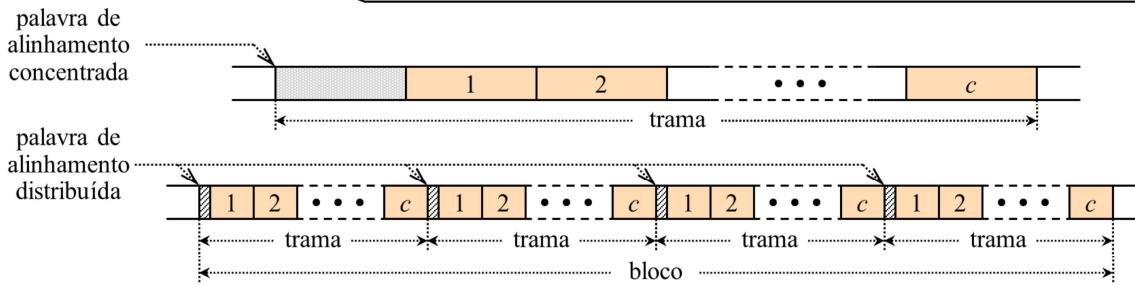
Alinhamento de trama

Necessidade da palavra de alinhamento

- consiste num determinado **padrão de bits** repetido sucessivamente nas tramas
- permite ao desmultiplexador identificar os **limites da trama** e recuperar os canais

Tipos de palavras de alinhamento

- concentrada **bits consecutivos**, inseridos num canal adicional em cada trama
- distribuída **bits dispersos**, inseridos ao longo de cada trama ou ao longo de cada bloco de várias tramas consecutivas



Tipos de palavras de alinhamento

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

O **desmultiplexador** efetua a **operação inversa** do multiplexador, em sincronismo de fase com este. Este requisito exige:

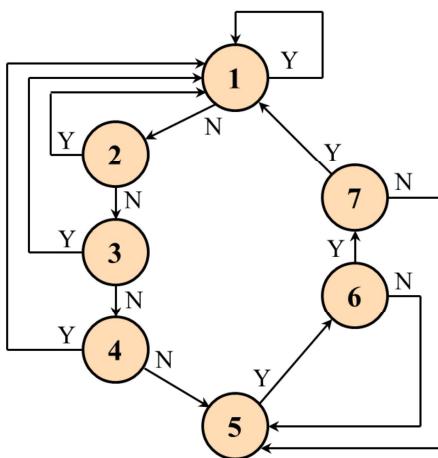
- a organização da informação em tramas, isto é, em estruturas de canais constituídas no multiplexador e reconhecidas no desmultiplexador;
- a inclusão de informação adicional pré-determinada – **palavra de alinhamento de trama**, para permitir ao desmultiplexador efetuar o reconhecimento dos **limites da trama** e consequentemente os **canais** pela sua **posição na trama**.

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Estratégia de alinhamento

- garante **imunidade a erros esporádicos na palavra de alinhamento**
- impede o alinhamento por **eventuais imitações** da palavra de alinhamento



1:	alinhado
1→2:	deteção de erro na trama n
2→3:	idem, na trama $n+1$
3→4:	idem, na trama $n+2$
4→5:	idem, na trama $n+3 \rightarrow$ desalinhado, pesquisa bit a bit
5→6:	deteção da palavra de alinhamento
6→7:	idem, na trama seguinte
7→1:	idem, na trama seguinte \rightarrow alinhado

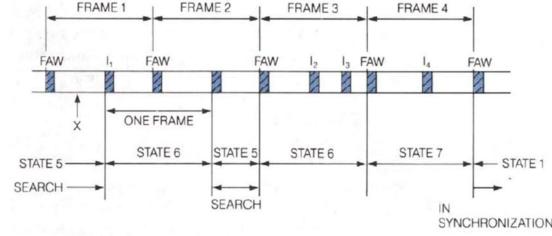


Diagrama de estados do alinhamento de trama (exemplo)

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

A **palavra de alinhamento** é transmitida no início da trama. A máquina de estados que se ilustra na figura permite que, caso aconteçam erros esporádicos na palavra de alinhamento, o desmultiplexador seja ainda assim capaz de descodificar a trama.

No estado 1 (alinhado), o desmultiplexador está sincronizado com o multiplexador, sabendo sempre em que intervalo de tempo ocorre a palavra de alinhamento.

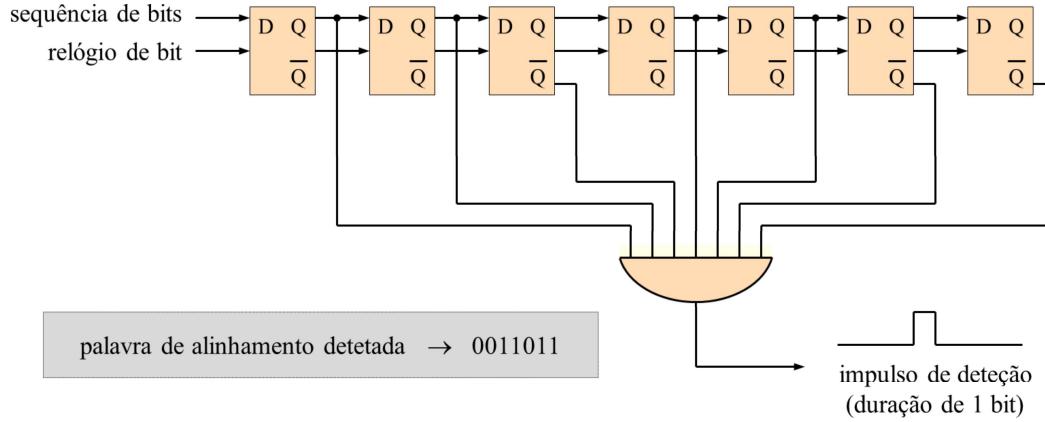
Estando no estado 1, e sendo detetado um erro na trama n , o desmultiplexador transita para o estado 2. Caso as tramas $n+1$, $n+2$ e $n+3$ sejam recebidas com erros, o desmultiplexador fica desalinhado e passa a pesquisar a palavra de alinhamento bit a bit. Assim que deteta a palavra de alinhamento novamente, passa ao estado 6. Se o desmultiplexador voltar a detetar corretamente a palavra de alinhamento nas duas tramas seguintes, volta ao estado 1 (alinhado).

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Deteção da palavra de alinhamento

- pode utilizar-se um simples circuito com registadores de deslocamento

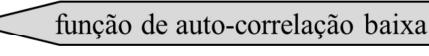


Deteção de alinhamento de trama através de registadores de deslocamento

Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Características do **padrão** da palavra de alinhamento

- **imune a imitações** anteriores à própria palavra  função de auto-correlação baixa
- não deverá ser imitada em consequência de **erros simples ocasionais**

Exemplos

- Más escolhas do padrão da palavra de alinhamento

padrão: 1111111 sequência: X1111111 imitação se X="1"

padrão: 0101010 sequência: XY0101010 imitação se XY="01"

padrão: 0000001 sequência: X0000001Y imitação se X="0" e erro no penúltimo bit
 imitação se Y="1" e erro no último bit

- Boa escolha do padrão da palavra de alinhamento

padrão: 0011011 nenhuma imitação anterior à palavra a não ser com **erros múltiplos**

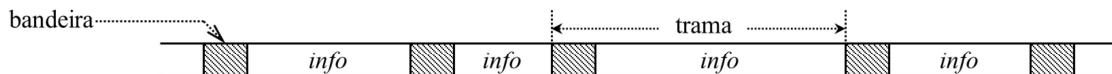
Multiplexagem digital síncrona

Alinhamento de trama

Alinhamento em redes orientadas a pacotes

tema estudado em Redes de Computadores

- tramas têm comprimento variável
- palavra de alinhamento designa-se de bandeira (*flag*) – e.g. “01111110”
- bandeira não pode ser imitada no campo de informação
- se for necessário enviar dados contendo o padrão da bandeira, alteram-se os bits enviados de forma a não ocorrer imitação



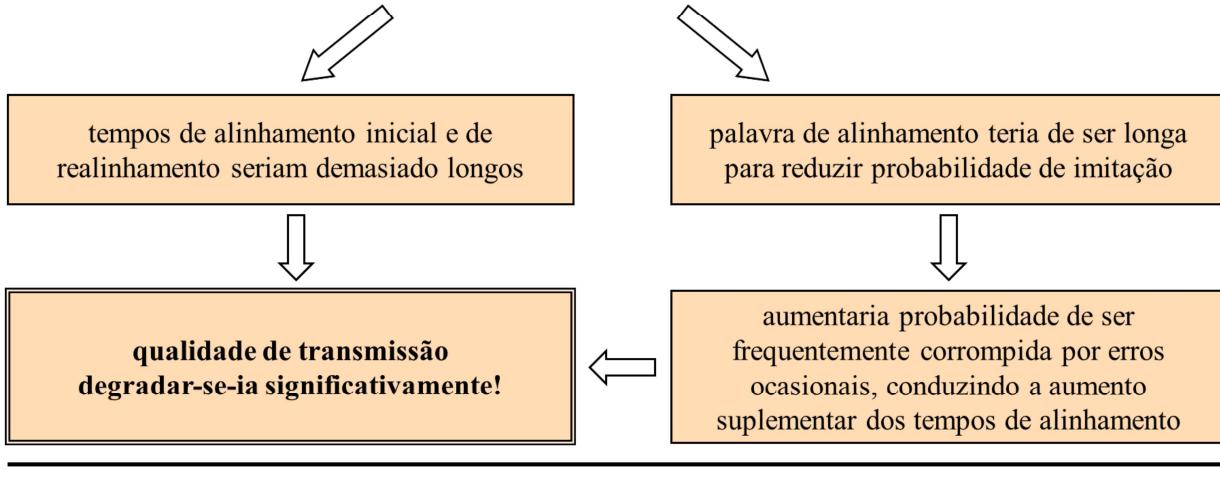
Sequência de tramas delimitadas por bandeiras

Multiplexagem digital síncrona

Multitrama

Problema das tramas longas

- alguns canais a transmitir são de baixo débito
 - canais de sinalização
 - canais de supervisão
- as tramas teriam de ser relativamente longas (com muitos bits)



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

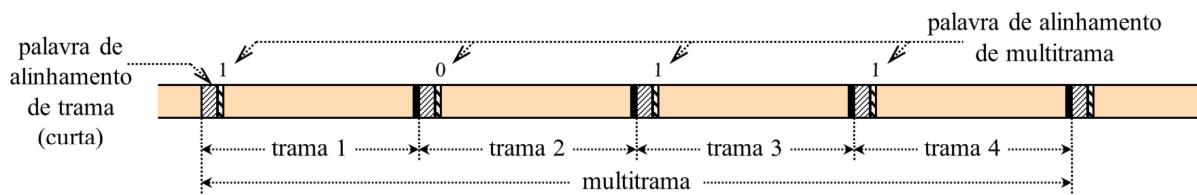
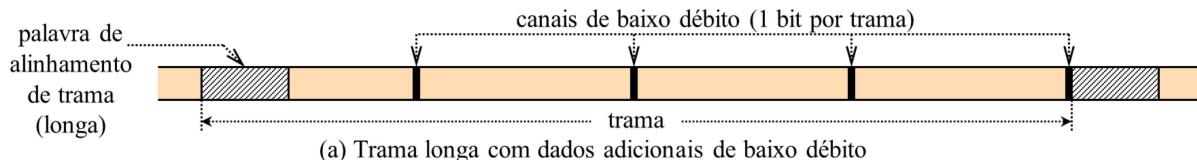
Multiplexagem digital síncrona

Multitrama

Conceito de multitrama

resolve os problemas das tramas longas

- a trama longa passa a ser uma multitrama constituída por (sub)tramas elementares
- cada uma das novas tramas dispõe agora de uma palavra de alinhamento própria
- bits adicionais formam uma palavra de alinhamento de multitrama
- **estratégia de alinhamento:** primeiro de trama e depois de multitrama



Conceito de multitrama

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

O alinhamento de multitrama identifica univocamente cada uma das tramas constituintes.

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

sistema de "2 Mbit/s"
adotado na Europa

Características gerais

Tramas

- 32 intervalos de tempo (IT0-IT31) de 8 bits
- comprimento total de 256 bits
- frequência de 8 kHz (período 125 µs)

Multitramas

- 16 tramas
- comprimento total de 4 096 bits
- frequência de 500 Hz (período 2 ms)

Atribuição dos intervalos de tempo

- IT0 reservado para alinhamento de trama, operação e manutenção (O&M) e CRC
- IT16 reservado para sinalização de canal comum (64 kbit/s)
- 30 restantes intervalos de tempo dedicados a dados (64 kbit/s) / canais de voz (8 bits; 8 kHz)

Sinalização de canal comum (CCS, *Common Channel Signalling*)

- troca de informação é feita sob a forma de mensagens
- canal de sinalização transporta informação relativa a todos os canais de utilizador da própria ligação e, eventualmente, de outras ligações da mesma rota

Sistemas de Telecomunicações

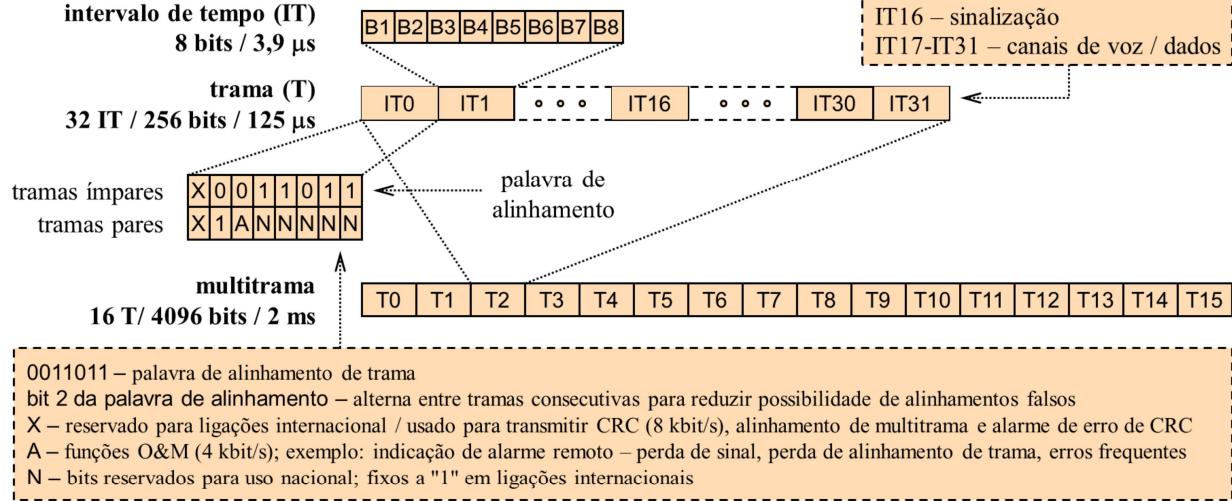
Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Características gerais



Formato de trama do sistema E1 de multiplexagem de 30 canais

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Multitrama de verificação redundante cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Check*)

- utilizada em praticamente todos os sistemas atuais
- permite **detetar erros** de transmissão na trama e impede **falsos alinhamentos**

Sub multi- trama	Trama	Atribuição dos bits B1 a B8 do IT0								Sub multi- trama	Trama	Atribuição dos bits B1 a B8 do IT0							
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
I	T0	C₁	0	0	1	1	0	1	1	II	T8	C₁	0	0	1	1	0	1	1
	T1	<u>0</u>	1	A	N	N	N	N	N		T9	<u>1</u>	1	A	N	N	N	N	N
	T2	C₂	0	0	1	1	0	1	1		T10	C₂	0	0	1	1	0	1	1
	T3	<u>0</u>	1	A	N	N	N	N	N		T11	<u>1</u>	1	A	N	N	N	N	N
	T4	C₃	0	0	1	1	0	1	1		T12	C₃	0	0	1	1	0	1	1
	T5	<u>1</u>	1	A	N	N	N	N	N		T13	E_I	1	A	N	N	N	N	N
	T6	C₄	0	0	1	1	0	1	1		T14	C₄	0	0	1	1	0	1	1
	T7	<u>0</u>	1	A	N	N	N	N	N		T15	E_{II}	1	A	N	N	N	N	N

palavra de alinhamento de multitrama "001011" – distribuída no bit B1 de IT0, nas 6 primeiras tramas ímpares
 C_n – CRC de 4 bits calculado sobre a sub-multitrama (8 tramas) anteriormente enviada

E_I / E_{II} – indicação de alarme remoto de erro de CRC detectado nas sub-multitramas anteriormente recebidas

Formato da multitrama de CRC do sistema E1

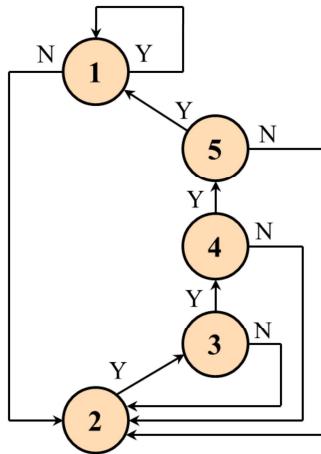
Multiplexagem digital síncrona

Sistemas básicos

Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

método preferido
por ser **mais fiável**



- 1: alinhado
- 1→2: >914 erros de CRC em 1000 cálculos (executados em 1 segundo) → desalinhado, pesquisa bit a bit
- 2→3: deteção da palavra de alinhamento
- 3→4: deteção de alternância do bit 2
- 4→5: deteção da palavra de alinhamento
- 5→1: procura do alinhamento de multitrama (padrão "001011" no bit 1 de IT0 das tramas ímpares); verificação de pelo menos 2 CRC corretos em 4 cálculos → alinhado

Diagrama de estados do alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

O **método CRC** não consegue determinar quantos erros causaram o *checksum* errado. Portanto, o resultado é um “maior que”.

O sistema de transmissão utiliza CRC-4 (4 bits) e efetua 1000 cálculos de CRC por segundo. Os 1000 cálculos por segundo correspondem a um cálculo para cada sub multi-trama (duração de 1 ms). Se o número de erros detetados exceder o limiar de 914 em 1000 (91,4%), considera-se que o sistema está desalinhado.

O alinhamento desenrola-se de acordo com a máquina de estados ilustrada na figura.