

---

## ***Codificação Digital de Voz***

- **Características gerais dos codificadores de voz**
- **Codificadores de forma de onda**
- **Codificadores de fonte**
- **Codificadores híbridos**

---

*Sistemas de Telecomunicações*

*Mário Jorge Leitão*

Neste capítulo, começaremos por abordar, de um modo geral, o problema da codificação digital de voz, discutindo, nomeadamente, os objectivos de qualidade dos codificadores de voz. Distinguiremos, ainda várias classes de codificadores, em função da técnica de codificação que adoptam.

Nas secções seguintes apresentaremos os vários tipos de codificadores que têm vindo a ser utilizados em serviços de comunicações de voz, quer directamente sobre o canal telefónico, quer em redes móveis, quer ainda em redes de dados (redes locais, Internet).

# Características gerais dos codificadores de voz

## Atributos dos codificadores

Débito binário

objectivo: baixo débito → rentabilizam-se meios de comunicação

- pode ser variável, impondo um débito de pico
- desejável suprimir períodos de silêncio

### *Técnica de interpolação de voz*

- liberta a largura de banda para outros utilizadores que partilham o meio
- permite um certo grau de multiplexagem estatística entre utilizadores

Complexidade

objectivo: baixa complexidade → reduz custos de implementação

- função dos recursos necessários para executar os algoritmos de codificação
- exprime-se normalmente na capacidade computacional exigida (em MIPS)

### *Extremos de complexidade*

- electrónica de baixa integração → processadores de sinal dedicados

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

A técnica de interpolação de voz permite a supressão de períodos de silêncio, assentando, por sua vez, em duas técnicas complementares:

- a detecção das pausas, distinguindo a presença de voz do ruído de fundo de forma suficientemente rápida, de modo a não perder o início de uma frase;
- a geração de ruído de fundo no receptor, durante as pausas, para evitar a sensação de perda de ligação (*comfort noise*).

O número de mega instruções por segundo (MIPS) é uma grandeza conveniente para medir os recursos computacionais: codificadores de voz de baixa complexidade exigem tipicamente 15 MIPS ou menos, enquanto os codificadores de elevada complexidade requerem 30 MIPS ou mesmo mais.

O codificador usado em telefonia digital desde há muitos anos é o mais rudimentar e exige um processamento mínimo das amostras, compatível com uma electrónica de baixa integração.

Nos sistemas mais recentes, suportados nomeadamente em terminais móveis e cartas de videoconferência para PC, recorre-se a processadores de sinal adequados, já disponibilizados por muitos fabricantes.

Noutras aplicações, a codificação/decodificação em tempo real é assegurada através de um PC multimédia comum, o que permite uma utilização generalizada do serviço. É o que está neste momento a acontecer com as comunicações de voz através da Internet.

# Características gerais dos codificadores de voz

## Atributos dos codificadores

### Atraso

objectivo: atraso reduzido → próximo da conversação natural

– intervalo de tempo entre o início da codificação e o fim da descodificação

<i>Componentes do atraso total</i>	
atraso do algoritmo	tempo para acumular um segmento de voz de cada vez (trama)
atraso de processamento	tempo para processar cada segmento de voz
atraso de comunicação	tempo para transmitir entre o codificador e o descodificador

<i>Valores limites do atraso total</i>	
atraso total > 25 ms	exige a eliminação do eco produzido em cada extremo
atraso total > 150 ms	perturbação moderada de interactividade
atraso total > 400 ms	muito incomodativo para o utilizador

### Qualidade

objectivo: elevada qualidade → melhora aceitação do serviço

– traduz a percepção da comunicação pelos utilizadores

– exprime-se através da média de opinião de um painel de pessoas

<i>5 níveis de qualidade</i>	→ excelente, boa, razoável, fraca, má
------------------------------	---------------------------------------

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

O eco consiste no retorno de uma parte do sinal recebido numa extremidade e pode ter origem eléctrica ou acústica. Nos sistemas digitais o eco eléctrico adiciona-se ao sinal digital no sentido contrário, constituindo uma componente adicional de ruído, que é normalmente removida no processo de regeneração, podendo, em casos extremos, introduzir erros. O eco acústico pode ser significativo quando o altifalante não é de tipo auricular (por exemplo, em sistemas de "mãos livres"). Se o atraso for muito pequeno (<25 ms), o eco é normalmente aceitável (a pessoa ouve em simultâneo a sua própria voz). O único perigo é o facto de o eco, produzindo na outra extremidade uma realimentação, poder criar oscilações. Para atrasos maiores, mesmo com pequenos níveis de eco, é indispensável recorrer a uma técnica adaptativa mais ou menos complexa de cancelamento de eco, que basicamente consiste na adição ao sinal de retorno de uma réplica do sinal recebido, de sinal contrário ao eco acústico gerado. Esta técnica será estudada mais tarde.

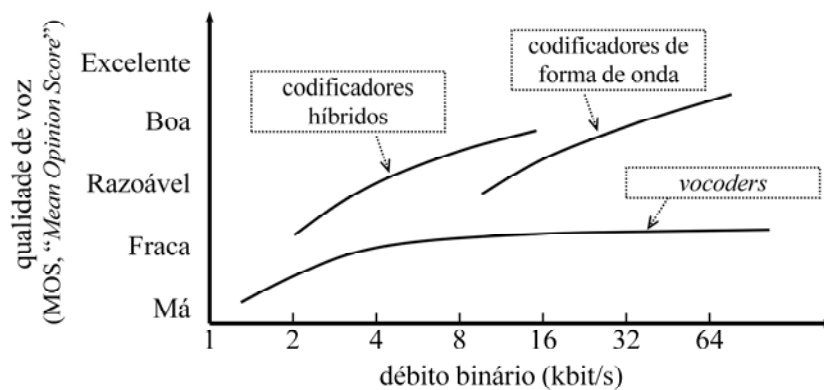
O atraso de algoritmo ocorre nos codificadores de baixo débito que efectuem o processamento da informação em tramas, isto é, um conjunto de amostras que constituem um segmento de voz. Além disso, para aumentar ainda mais a eficiência de codificação (reduzir o débito binário), uma parte (sub-trama) da trama seguinte é igualmente incluída no processamento da trama actual. A trama actual e a sub-trama seguinte são armazenadas numa memória enquanto o codificador as processa, pelo que se introduz um atraso mínimo correspondente às durações das tramas armazenadas. Nos codificadores mais elementares, o processamento é efectuado sobre cada amostra de forma independente, pelo que não existe atraso de algoritmo.

A qualidade de um codificador depende de muitos parâmetros do próprio codificador, mas também do tipo de sinal a codificar. Por estas razões, e sendo essencialmente subjectiva, a avaliação da qualidade deverá ser efectuada por um painel de várias pessoas que deverão apreciar um conjunto diversificado de trechos de voz (voz masculina, voz feminina, mais do que uma voz, voz e ruído ambiente, etc.).

## Características gerais dos codificadores de voz

### Classes de codificadores

Codificadores de forma de onda	independentes do sinal a codificar
Codificadores de fonte (“vocoders”)	usam um modelo para a geração do sinal
Codificadores híbridos	combinam as duas técnicas anteriores



Qualidade de voz versus débito binário para as classes de codecs

Sistemas de Telecomunicações

Codificação Digital de Voz

Os codificadores de forma de onda produzem débitos elevados mas permitem boa qualidade.

Por sua vez os codificadores de fonte (*vocoders*) operam a débitos baixos mas tendem a produzir sinais de voz que soam a algo sintético.

Os codificadores híbridos combinam técnicas de codificadores de forma de onda e de fonte, assegurando uma boa qualidade a débitos intermédios.




# Codificadores de forma de onda

## Características gerais

### Princípios de operação e atributos

- não assumem qualquer conhecimento sobre a geração do sinal a codificar
- procuram obter um sinal com uma forma de onda semelhante ao original
- operam de forma satisfatória com sinais de voz ou outros sinais
- baixa complexidade de realização prática
- débitos acima de 16 kbit/s, degradando-se muito rapidamente abaixo deste valor
- atraso reduzido (no máximo, alguns ms)

### Sistemas em uso corrente

- |   |  |  |
|---|--|--|
| – G.711: PCM, Lei A ou $\mu$ ; 64 kbit/s      |  | técnica básica de codificação com compressão                     |
| – G.726: ADPCM; 40, 32, 24 ou 16 kbit/s       |  | utiliza a correlação entre amostras consecutivas                 |
| – G.722: codificador de sub-bandas; 64 kbit/s |  | baseia-se na não uniformidade da densidade espectral de potência |

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Os primeiros sistemas de codificação de voz basearam-se na técnica de codificação de forma de onda. A técnica de codificação ainda hoje utilizada em telefonia conduz a um débito de 64 kbit/s, correspondendo ao canal básico de 64 kbit/s.

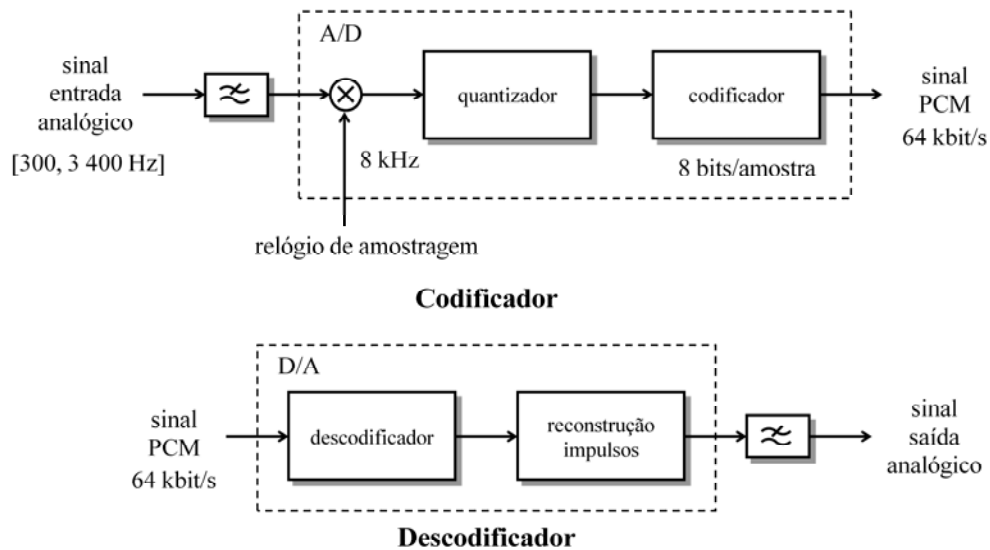
Os sistemas subsequentes desenvolveram-se em duas direcções distintas: reduzir o débito, de forma a permitir mais canais de voz por canal de comunicação (por exemplo, 4 canais de voz por canal de comunicação a 64 kbit/s); ou então, aumentar a qualidade, mantendo o débito básico de 64 kbit/s.

# Codificadores de forma de onda

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Princípio de codificação

Sistema básico utilizado em telefonia digital



*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

O codificador básico PCM é o mais simples, processando amostras individuais.

Um sinal de voz com qualidade aceitável pode ser limitado a uma largura de banda de 3 100 kHz, entre os 300 e 3 400 Hz. A taxa de amostragem de 8 kHz é compatível com a frequência máxima deste sinal, permitindo um intervalo de filtragem razoável para o pré-filtro do codificador e para o filtro de reconstrução do descodificador.

Veremos seguidamente como é possível obter um sinal de voz com qualidade aceitável com 8 bits por amostra.

## *Codificadores de forma de onda*

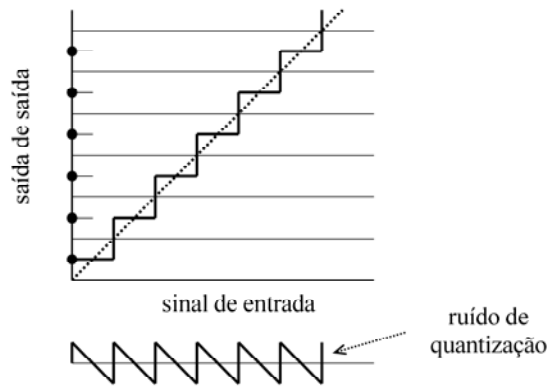
---

### **Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)**

- Quantização uniforme

Ruído de quantização

– independente da amplitude do sinal de entrada



**Ruído de quantização em função da amplitude do sinal**

---

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

O princípio de codificação em que se baseia o codificador PCM já foi estudado na disciplina de Telecomunicações 2, pelo que iremos apenas recordar os principais resultados e considerar o contexto concreto da telefonia digital.

# Codificadores de forma de onda

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização uniforme

Relação sinal-ruído de quantização

### Caso geral

- $v$  - amplitude rms do sinal de entrada  
 $q$  - amplitude do intervalo de quantização

$$SQR = 10 \log_{10} \left( \frac{v^2}{q^2/12} \right) = 10,8 + 20 \log_{10} \frac{v}{q} \quad (\text{dB})$$

### Sinal sinusoidal

- $A$  - amplitude de pico do sinal de entrada  
 $q$  - amplitude do intervalo de quantização

$$SQR = 10 \log_{10} \left( \frac{A^2/2}{q^2/12} \right) = 7,78 + 20 \log_{10} \frac{A}{q} \quad (\text{dB})$$

### Sinal sinusoidal e codificador de $n$ bits

- $A$  - amplitude de pico do sinal de entrada  
 $A_{\max}$  - amplitude máxima de codificação  
 $q$  - amplitude do intervalo de quantização  
 $n$  - número de bits de cada amostra

$$q = \frac{2A_{\max}}{2^n}$$

$$SQR = 1,76 + 6,02n + 20 \log_{10} \frac{A}{A_{\max}} \quad (\text{dB})$$

---

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Estes resultados foram igualmente obtidos na disciplina de Telecomunicações 2.

Destaca-se apenas o facto de, num codificador uniforme de  $n$  bits, por cada bit acrescentado, a relação sinal ruído aumentar de cerca de 6 dB.

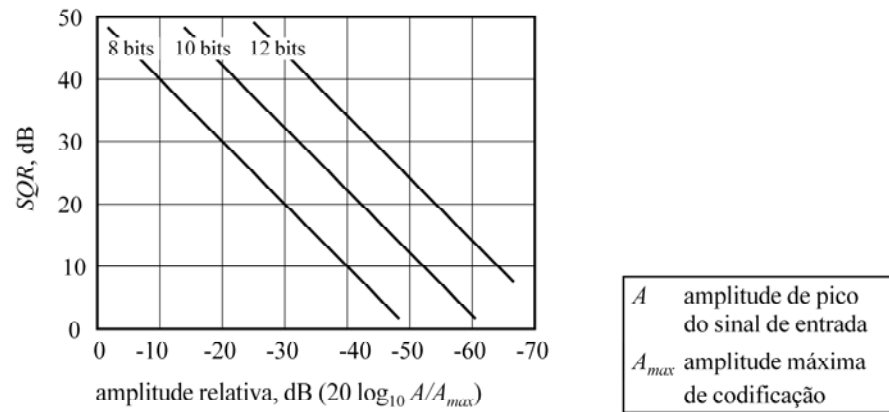


# Codificadores de forma de onda

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização uniforme

Relação sinal-ruído de quantização



**Relação sinal-ruído de quantização uniforme**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Esta figura evidencia as limitações da quantização uniforme: o facto de a potência de ruído de quantização ser constante conduz a que a relação sinal-ruído de quantização decresça proporcionalmente com a amplitude do sinal de entrada.

Esta facto implica que o intervalo de quantização e, consequentemente, o número de bits por amostra, sejam definidos pelo valor de SQR para o sinal de mais baixa amplitude. Como os sinais de maior amplitude são quantizados com o mesmo intervalo resulta uma utilização muito ineficiente do espaço de codificação.

No caso da telefonia, exige-se uma relação sinal-ruído de quantização superior a 35 dB para uma gama dinâmica de pelo menos 35 dB. A figura mostra que esta especificação é satisfeita com um sistema de quantização uniforme de 12 bits, valor este bastante superior aos 8 bits por amostra pretendidos.

# Codificadores de forma de onda

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

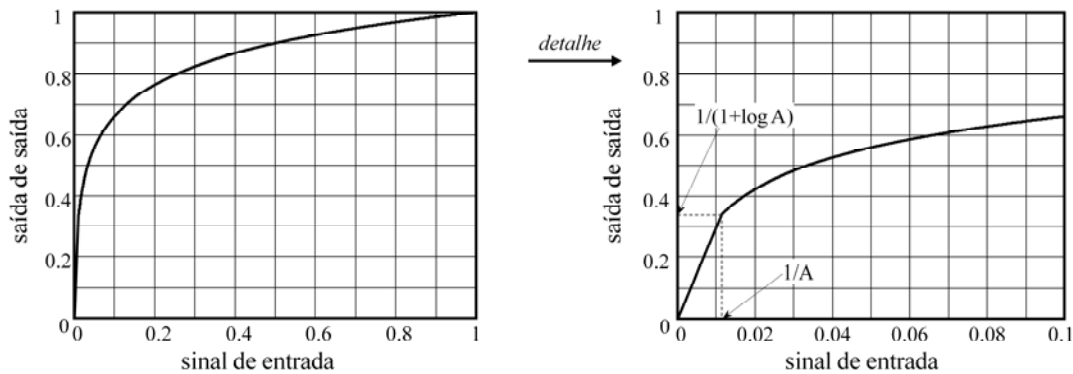
- Quantização não uniforme

Lei A

$$y = \frac{Ax}{1 + \log A} \quad \text{para } 0 \leq |x| \leq 1/A$$

$$y = \frac{1 + \log(Ax)}{1 + \log A} \quad \text{para } 1/A \leq |x| \leq 1$$

A=87,6



Curva de compressão da lei A

Sistemas de Telecomunicações

Codificação Digital de Voz

Um procedimento mais eficiente, ou seja, que conduz a um menor número de bits de codificação para o mesmo objectivo de SQR, consiste em introduzir intervalos não uniformes: se forem proporcionais à amplitude do sinal, o valor de SQR virá constante.

A quantização não uniforme pode ser realizada introduzindo um dispositivo não linear (compressor) cuja característica entrada-saída se designa de curva de compressão. O sinal a comprimir é aplicada a este dispositivo, sendo a saída amostrada com quantização uniforme.

Se a curva de compressão for logarítmica, garantem-se valores de SQR constantes numa larga banda dinâmica. Em telefonia digital foram introduzidas duas leis de compressão deste tipo:

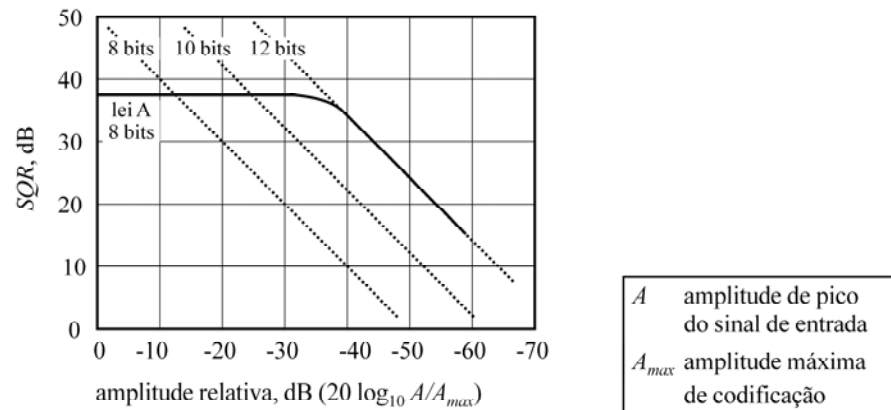
- lei A, recomendada pela UIT para a Europa, e mais tarde adoptada na maior parte do resto do mundo;
- lei  $\mu$ , utilizada na América do Norte e Japão.

# Codificadores de forma de onda

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização não uniforme

Relação sinal-ruído de quantização com lei A



**Relação sinal-ruído de quantização não uniforme (lei A em comparação com quantização uniforme)**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

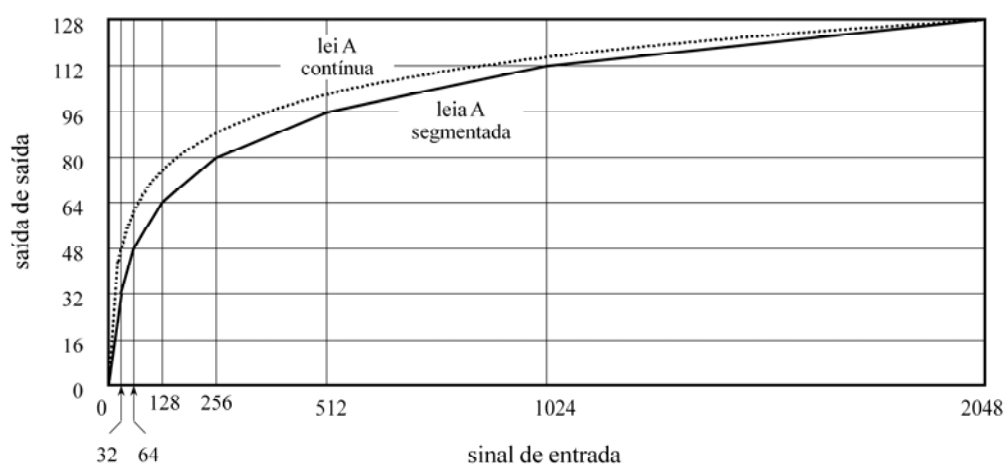
Como se pode verificar, a lei A de 8 bits exibe uma SQR de cerca de 38 dB numa vasta gama de amplitudes, sendo equivalente a um codificador uniforme de 12 bits para as pequenas amplitudes. Ou seja, sacrificando a SQR correspondente às maiores amplitudes, obteve-se uma redução de 12 para 8 bits.

A relação sinal-ruído de quantização para a lei  $\mu$  é muito semelhante à da lei A, não existindo razões técnicas suficientemente fortes para se adoptar uma ou outra. A divergência teve antes razões políticas e económicas cujas consequências negativas ainda se fazem sentir, quer pela existência de sistemas diferentes a nível mundial, quer pela necessidade de transcodificação nas comunicações entre os dois tipos de sistemas.

## Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização não uniforme

Lei A segmentada



**Curva de compressão da lei A segmentada e da lei A contínua**

Um dos problemas da codificação não uniforme é a realização prática de compressores não lineares que operam sobre o sinal analógico.

Para evitar esta dificuldade, passou a adoptar-se uma técnica de compressão/descompressão que converte directamente as amostras digitais. Para simplificar este procedimento, introduziram-se aproximações de segmentos às leis A e  $\mu$ .

No caso da lei A, a curva de conversão é linearizada por segmentos com as seguintes características para os valores positivos (analogamente para os negativos):

- foram definidos 8 segmentos, sendo os dois primeiros colineares entre si, o que conduz a um total efectivo de 7 segmentos;
- a partir do segundo, cada segmento corresponde a uma oitava e tem uma inclinação exactamente metade do seu antecessor.

A última propriedade conduz a que o erro de quantização num segmento seja o dobro do erro de quantização do seu antecessor; por sua vez, sendo a amplitude do sinal o dobro, a relação sinal-ruído de quantização mantém-se aproximadamente constante, como pretendido.

O degrau de quantização é mínimo no primeiro segmento (o de menor amplitude). Se for usado um quantizador uniforme para o sinal de entrada, seguido de um compressor digital que implementa a característica de compressão acima representada, são necessários 4096 níveis de quantização (amplitudes positivas e negativas), ou seja, amostras de 12 bits.

## Codificadores de forma de onda

### Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização não uniforme

Tabela de codificação / decodificação da lei A segmentada

Amplitude de entrada	Intervalo quantização	Código do segmento	Código de quantização	Amplitude de saída
0 – 2 ... 30 – 32	2	000	0000 ... 1111	1 ... 31
32 – 34 ... 62 – 64	2	001	0000 ... 1111	33 ... 63
64 – 68 ... 124 – 128	4	010	0000 ... 1111	66 ... 126
128 – 136 ... 248 – 256	8	011	0000 ... 1111	132 ... 252
256 – 272 ... 496 – 512	16	100	0000 ... 1111	264 ... 504
512 – 544 ... 992 – 1024	32	101	0000 ... 1111	528 ... 1008
1024 – 1088 ... 1984 – 2048	64	110	0000 ... 1111	1056 ... 2016
2048 – 2176 ... 3968 – 4096	128	111	0000 ... 1111	2112 ... 4032

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Na especificação da UIT a que se refere a tabela, cada amostra é codificada com 8 bits:

- 1 bit de sinal (0 - positivo, 1 - negativo);
- 3 bits do código do segmento;
- 4 bits do código de quantização no segmento.

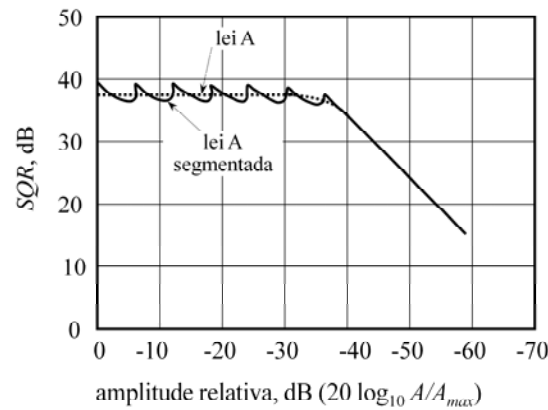
Embora o codificador possa operar com amostras de 12 bits antes da compressão, o decodificador deverá ter uma resolução de 13 bits para minimizar o erro de quantização: a amplitude de saída deve estar precisamente a meio do intervalo de quantização do sinal de entrada. Por esta razão, a tabela acima considera 4096 intervalos da polaridade positiva do sinal de entrada, e não 2048 como na figura da página anterior.

## Codificadores de forma de onda

### Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Quantização não uniforme

Relação sinal-ruído de quantização com lei A segmentada



**Relação sinal-ruído de quantização não uniforme  
(aproximação de segmentos em comparação com lei A)**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Como se pode verificar, a SQR é aproximadamente constante numa banda dinâmica de mais de 35 dB, embora o facto de se usarem segmentos e não uma curva com derivada contínua conduz a que ocorram pequenas variações da SQR em comparação com a curva correspondente de quantização contínua.

Por outro lado, para pequenos sinais, o comportamento do quantizador não uniforme é equivalente ao de um quantizador uniforme de 12 bits. Este resultado era esperado, já que nos situamos em amplitudes que caem no primeiro segmento, onde a resolução é máxima e corresponde a 12 bits.

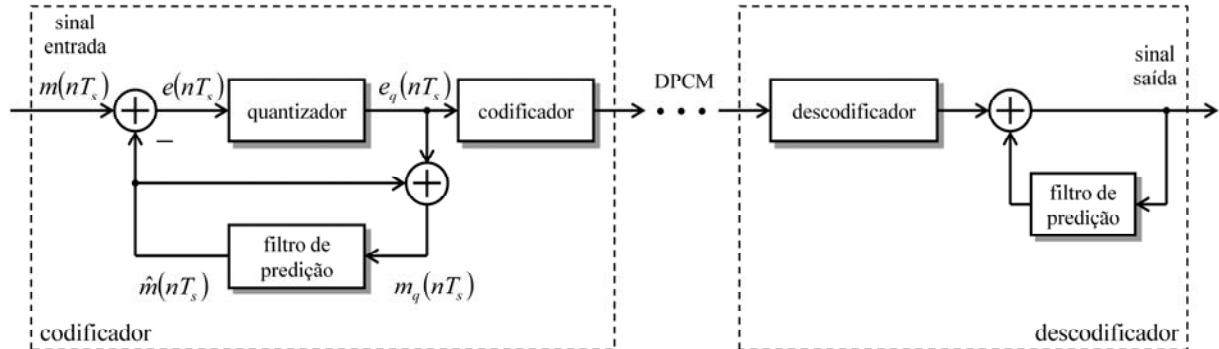
# Codificadores de forma de onda

## Codificador DPCM (Differential PCM)

Características gerais

- beneficia da redundância temporal de uma forma de onda típica de voz
- codifica-se a diferença entre o sinal e a sua predição

exige menos bits



$m(nT_s)$  - sequência de amostras de período  $T_s$   
 $e(nT_s)$  - diferença entre as amostras não quantizadas e as respectivas predições

Diagrama blocos de um sistema DPCM

Sistemas de Telecomunicações

Codificação Digital de Voz

O codificador DPCM baseia-se no facto de a amplitude das diferenças entre as amostras e respectivas predições ser menor do que a amplitude das próprias amostras, podendo por isso usar-se menos bits na codificação das diferenças. Entende-se por predição o processo de previsão de uma amostra futura a partir das amostras anteriores. A codificação será tanto mais eficiente quanto melhor for a qualidade da predição.

No codificador DPCM utilizam-se normalmente malhas de realimentação com integração das diferenças, para evitar a acumulação de erros de quantização. O mesmo tipo de integração das diferenças é efectuado no receptor. Como é óbvio, o filtro de predição utilizado no codificador deverá ser igual ao utilizado no decodificador.

Um dos problemas da codificação DPCM é o facto de a amplitude do sinal diferença poder exceder o nível máximo do quantizador. Neste caso, ocorrerá a chama distorção de declive (*slope overload*).

# Codificadores de forma de onda

## Codificador DPCM (Differential PCM)

Filtro de predição

– pode ser realizado através de um filtro transversal FIR

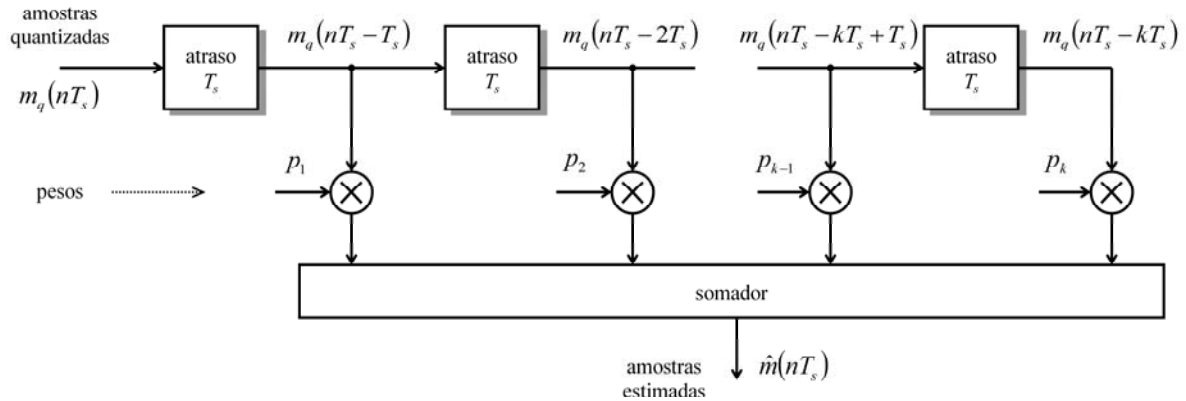


Diagrama-blocos de um filtro de predição de ordem  $k$

Sistemas de Telecomunicações

Codificação Digital de Voz

A predição de uma amostra é modelizada através da combinação linear de  $p$  amostras anteriores quantizadas, onde  $k$  é a ordem de predição.

Os coeficientes da combinação linear são aplicados às entradas dos multiplicadores e o somador produz a estimativa pretendida.

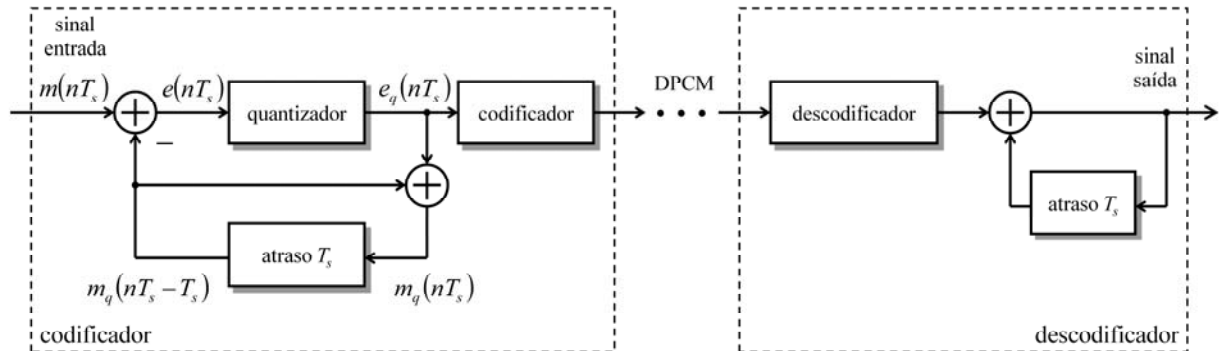


# Codificadores de forma de onda

## Codificador DPCM (Differential PCM)

Sistema DPCM básico (de 1ª ordem)

- a predição baseia-se apenas na amostra anterior
- o filtro de predição é um simples atraso



$m(nT_s)$  - sequência de amostras de período  $T_s$   
 $e(nT_s)$  - diferença entre as amostras não quantizadas e as respectivas predições

**Diagrama blocos de um sistema DPCM básico**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

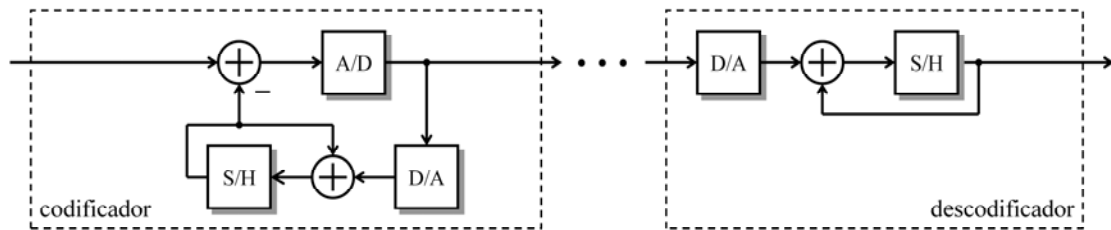
Como caso particular mais simples, a predição de uma amostra presente é o valor da amostra anterior quantizada.

Se a quantização for realizada com um único bit, teremos então a chamada modulação delta (DM, *Delta Modulation*).

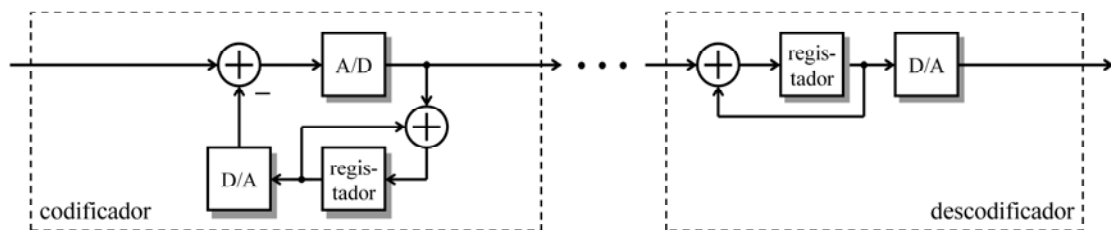
# Codificadores de forma de onda

## Codificador DPCM (Differential PCM)

Implementação de *codecs* de DPCM básico



**Codec DPCM com integração analógica**



**Codec DPCM com integração digital**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

No codec DPCM com integração analógica o atraso de um intervalo de amostragem é introduzido por circuitos *sample-and-hold*. Os somadores operam com amostras analógicas.

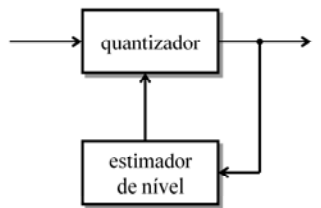
No codec DPCM com integração digital o atraso é introduzido por registradores que armazenam cada amostra durante um intervalo de amostragem. Por sua vez, os somadores acumulam digitalmente as diferenças.

## *Codificadores de forma de onda*

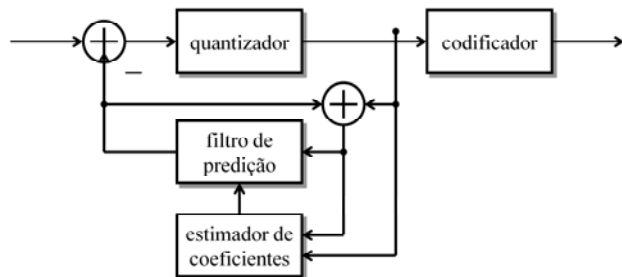
### **Codificador ADPCM (Adaptive Differential PCM) a 32 kbit/s**

Características gerais

- codifica sinais de voz com uma banda de 4 kHz
- utiliza técnicas adaptativas
  - quantização adaptativa
  - predição adaptativa de 8ª ordem
- introduz um atraso de algoritmo de 2 ms
- utilizado em sistemas de longa distância, telefones sem fios (ex: DECT), FWA, etc.



**Quantização adaptativa**



**Predição adaptativa**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

O codificador ADPCM é adaptativo no sentido em que o intervalo de quantização e os coeficientes do filtro de predição variam ao longo do tempo de forma a minimizar o erro de quantização:

- a quantização adaptativa baseia-se na utilização de amostras do quantizador para estimar o intervalo de quantização que melhor se adapta à variância do sinal;
- a predição adaptativa baseia-se na utilização de amostras do sinal estimado e do erro de predição quantizado para calcular os coeficientes do filtro de predição.

No decodificador ADPCM replicam-se as mesmas funções de quantização e predição adaptativas.

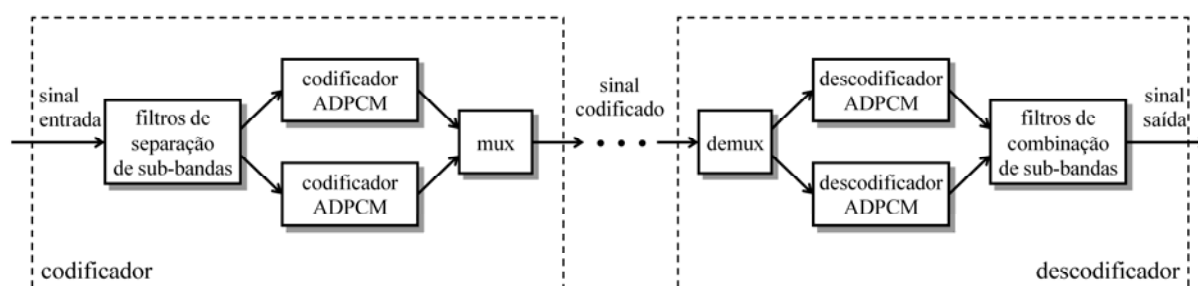
Esta técnica de codificação é utilizada em sistemas de transmissão de elevado custo (satélite, cabos submarinos) ou de largura de banda limitada (telefones sem fios, acesso fixo via rádio), sendo actualmente considerada um standard para codificação de sinais de voz, em conjunto com a técnica convencional de 64 kbit/s.

# Codificadores de forma de onda

## Codificador de sub-bandas a 64 kbit/s

### Características gerais

- codifica sinais de áudio com uma banda de 7 kHz
- dois codificadores ADPCM operam em duas sub-bandas
  - banda de 0-4 kHz → 6 bits por amostra
  - banda de 4-7 kHz → 2 bits por amostra
- as duas sub-bandas são subsequentemente combinadas no decodificador



**Diagrama blocos de um sistema de codificação de sub-bandas**

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

Ao contrário dos codificadores anteriores, que operam apenas no domínio dos tempos, os codificadores de sub-bandas operam igualmente no domínio das frequências.

Diversos tipos de codificadores de sub-bandas foram propostos, quer no sentido de melhorar a qualidade num canal a 64 kbit/s, quer no sentido de reduzir o débito mantendo a qualidade do sistema básico telefónico. O codificador acima identificado cai no primeiro grupo, sendo um dos mais utilizados. Parte do princípio de que as características espectrais do sinal de voz são muito diferentes em cada uma das sub-bandas em que o espectro total é dividido. Deste modo, a codificação é otimizada para cada uma dessas sub-bandas, conduzindo, neste caso concreto, a que o número de bits necessários para codificar a sub-banda alta seja muito menor do que o número correspondente à sub-banda baixa.

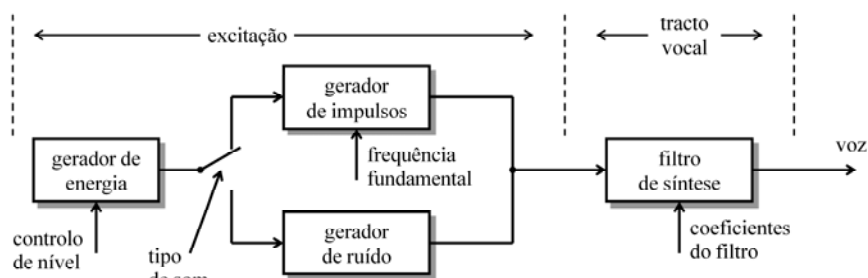
# Codificadores de fonte (vocoders)

## Características gerais

### Modelo de voz

- tracto vocal representado por um filtro de síntese variável no tempo
- voz resulta de um sinal de excitação aplicado ao filtro

<i>Sons vocais</i>	<i>Sons não vocais</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• resultam da abertura e fecho das cordas vocais</li><li>• produzem impulsos de ar quase periódicos</li><li>• excitação é um trem de impulsos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• resultam da turbulência do ar expelido dos pulmões</li><li>• não apresentam características periódicas</li><li>• excitação é uma fonte de ruído branco</li></ul>



**Modelo equivalente de geração de voz**

*Sistemas de Telecomunicações*

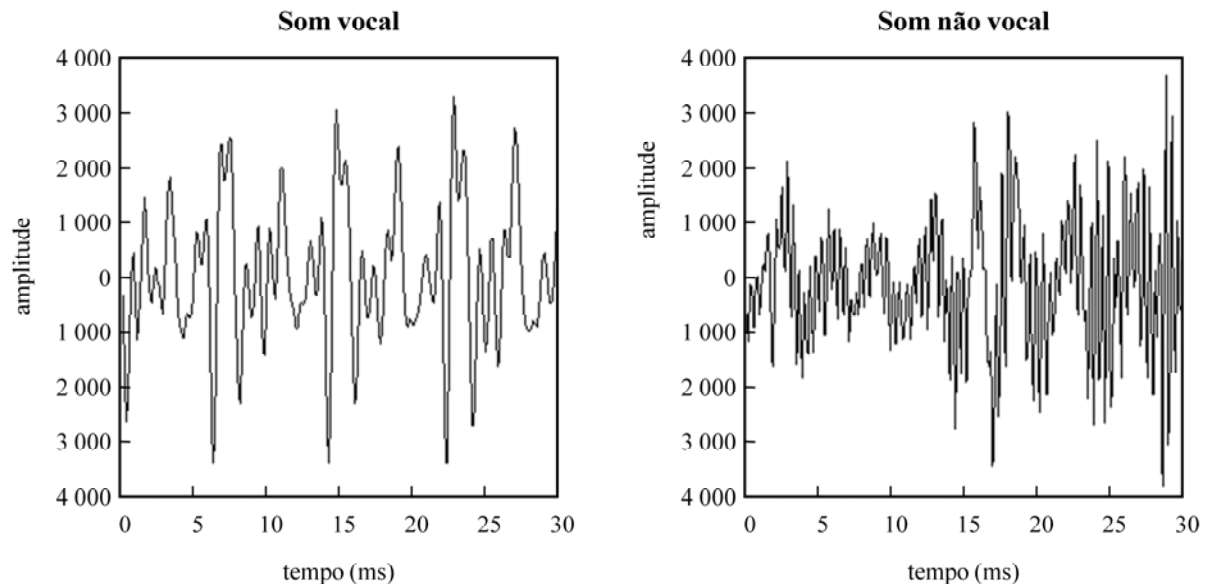
*Codificação Digital de Voz*

O objectivo fundamental de um *vocoder* é a codificação apenas da informação perceptualmente importante da voz. Por esta razão, os *vocoders* codificam apenas sinais de voz e não são aplicáveis a outros sinais analógicos, como por exemplo, de modems.

Os *vocoders* mais comuns assentam num modelo de voz que começa por distinguir dois tipos de som, vocal ou não vocal. A voz pode ser produzida aplicando a um filtro de síntese variável no tempo um sinal de excitação que depende do tipo de som e é caracterizado por um certo nível e, no caso dos sons vocais, por uma certa frequência fundamental.

## *Codificadores de fonte (vocoders)*

---



**Segmentos do sinal de voz**

---

*Sistemas de Telecomunicações*

*Codificação Digital de Voz*

O segmento relativo ao som vocal evidencia a sua característica mais ou menos periódica, neste caso correspondente a cerca de 8 ms de período (normalmente situa-se entre 2 e 20 ms).

Pelo contrário, o segmento referente ao som não vocal assemelha-se mais a um sinal de ruído aleatório.

## Codificadores de fonte (vocoders)

### Características gerais

Princípios de operação e atributos

*vocoders LPC - Linear Predictive Coding*

- parâmetros de voz extraídos no codificador e enviadas para o decodificador
- permitem débitos da ordem de 2,4 kbit/s ou até menores
- atrasos de codificação relativamente elevados
- qualidade relativamente baixa

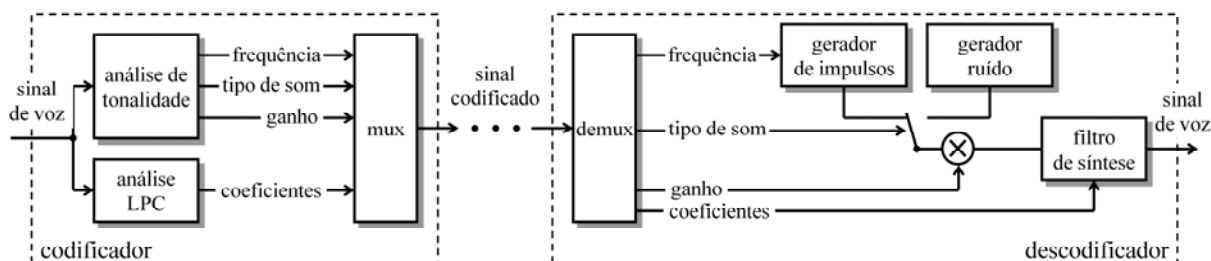


Diagrama blocos de um vocoder LPC

### Sistemas em uso corrente

- sistemas de muito baixo débito com prejuízo da qualidade
- exemplo: aplicações militares

Dos vários tipos de *vocoders* propostos, os mais utilizados actualmente são os baseados na codificação linear preditiva (LPC). Estes codificadores extraem os parâmetros importantes da voz a partir da forma de onda temporal.

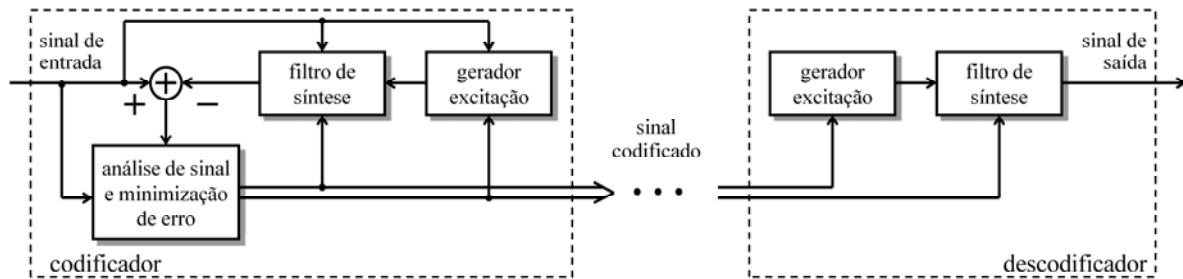
Fundamentalmente, um codificador LPC analisa a forma de onda de voz para extrair as características da excitação do tracto vocal e da sua função de transferência. O decodificador utiliza estes parâmetros para sintetizar o sinal de voz.

# Codificadores híbridos

## Características gerais

### Princípios de operação e atributos

- assumem o mesmo tipo de filtro de predição linear dos *vocoders*
- o sinal de excitação e o filtro são definidos de modo a minimizar o erro do sinal
- codificam blocos de voz tipicamente entre 10 e 30 ms (80 e 240 amostras)
- analisam amostras em sub-blocos posteriores
- introduzem um atraso do algoritmo tipicamente entre 15 e 40 ms
- introduzem complexidade compatível com capacidade de processamento de PCs



Estrutura de um codec híbrido

Sistemas de Telecomunicações

Codificação Digital de Voz

Este tipo de codificadores melhoram significativamente a qualidade subjectiva do sinal através de uma malha de realimentação destinada a reduzir o erro de codificação.

Apesar de a capacidade de processamento requerida aumentar de forma significativa, o actual desenvolvimento ao nível de computadores pessoais com capacidade multimédia conduziu a que este tipo de equipamento possa ser utilizado, por exemplo, em aplicações sobre redes de dados.



### **Sistemas em uso corrente**

GSM: “*Regular Pulse Excited*” (RPE)

- blocos de 20 ms; atraso de algoritmo de 20 ms
- débito de 13 kbit/s
- utilizado em sistemas móveis

G.729: “*Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction*” (CS-ACELP)

- blocos de 10 ms; sub-blocos posteriores de 5 ms; atraso de algoritmo de 15 ms
- débito de 8 kbit/s
- utilizado em sistemas móveis e telefonia sobre IP em sistemas multimédia

G.723.1: “*Multipulse Maximum Likelihood Quantization*” (MP-MLQ)

“*Algebraic Code Excited Linear Prediction*” (ACELP)

- blocos de 30 ms; sub-blocos posteriores de 7,5 ms; atraso de algoritmo de 37,5 ms
- débitos de 6,3 kbit/s (MP-MLQ) e 5,3 kbit/s (ACELP)
- utilizado em telefonia sobre IP em sistemas multimédia

A utilização de codificadores híbridos em GSM mostra bem até que ponto este tipo de tecnologia se vulgarizou e atingiu custos de implementação muito reduzidos.

Por outro lado, ao nível das comunicações multimédia os dois standards em utilização corrente pouco diferem entre si em termos de qualidade. A opção entre um e outro dependerá dos requisitos de tolerância aos atrasos (G.729 é melhor) ou de débito (G.723.1 é melhor).