

PCM uniforme na presença de ruído

- Fonte: Ruído no canal provoca erros nas palavras binárias no decodificador, **ruído de descodificação**.
- A potência deste ruído pode ser adicionada ao ruído de quantificação (fontes independentes, logo não correlacionadas)

$$(s/n) = s/(n_q + n_d)$$

- Hipóteses simplificativas (palavra de N_b bits):
 - Prob. de erro de bit muito baixa, $P_e \ll 1$.
 - Apenas 1 erro por cada palavra binária, P -um erro = $N_b P_e$
 - PCM uniforme:
 - Um erro no bit m provoca um erro

- Potência do ruído de descodificação: $\epsilon_m = \pm q 2^m = \pm (2A/L) 2^m$

Atenção: no "Carlson" a notação é diferente! (Por exemplo, lá q é o nº de níveis.)

$$\langle \epsilon_m^2 \rangle = \frac{1}{N_b} \sum_{m=0}^{N_b-1} \left(\frac{2A}{L} 2^m \right)^2 = \frac{1}{N_b} \left(\frac{2A}{L} \right)^2 \sum_{m=0}^{N_b-1} 4^m = \frac{4A^2}{N_b L^2} \frac{4^{N_b} - 1}{4 - 1} = \frac{4A^2}{3N_b} \frac{L^2 - 1}{L^2} \approx \frac{4A^2}{3N_b}$$

$4^{N_b} = (2^2)^{N_b} = (2^{N_b})^2 = L^2$

É uma média ponderada do erro

$$n_d = N_b P_e \langle \epsilon_m^2 \rangle \approx \frac{4A^2}{3} P_e$$

Lembre-se que a soma de uma progressão geométrica de razão r é:

$$\sum_{k=0}^n r^k = \frac{r^{n+1} - 1}{r - 1}$$

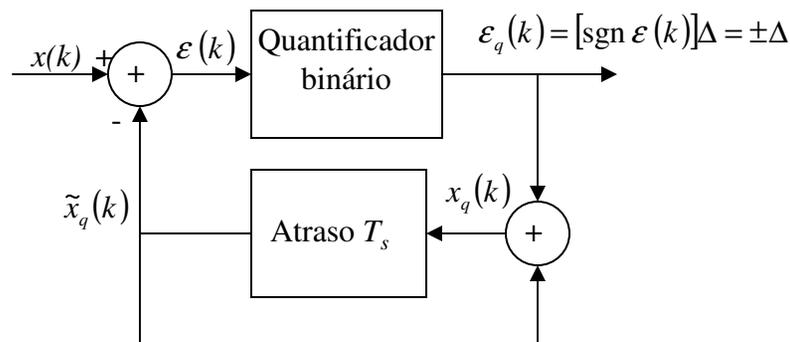
Técnicas de codificação diferencial

- Para muito correlacionados, e.g. o sinal de voz e o sinal de video, o valor do sinal varia pouco de amostra para amostra:
 - isto permite prever com alguma confiança o valor de uma amostra a partir das amostras anteriores;
 - esse valor previsto terá um determinado erro, mas a gama de variação do erro deverá ser muito menor que a das amostras.
- As técnicas de codificação diferencial exploram esta característica transmitindo apenas a informação correspondente à diferença entre os valores previstos e os valores actuais (erro):
 - a vantagem evidente é que são necessários menos bits na codificação do erro do que na codificação de uma amostra (e.g. PCM);
- Duas técnicas: a modulação delta (DM) e o PCM diferencial (DPCM).

Modulação delta (delta modulation - DM)

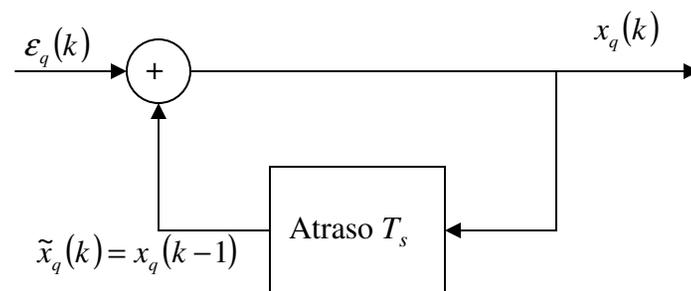
- Diagrama de blocos do emissor e receptor -

Codificador de modulação delta:



- O emissor começa com um valor $\tilde{x}_q(0)$ arbitrário, tal que $\tilde{x}_q(0) < x(0)$ e por isso $\varepsilon_q(0) = +\Delta$. Depois $\varepsilon_q(0)$ é colocado à entrada do acumulador para dar origem à previsão actualizada $\tilde{x}_q(1) = \tilde{x}_q(0) + \varepsilon_q(0)$.

Descodificador de modulação delta:



NOTAS:

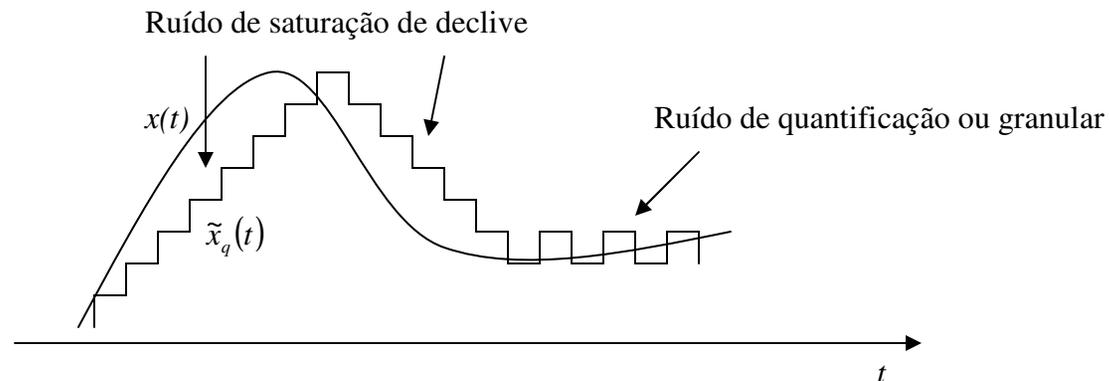
- $x(k) = x(kT_s)$
- dado o valor quantificado $x_q(k-1)$ uma previsão para o próximo valor será o próprio valor anterior, i.e. $\tilde{x}_q(k) = x_q(k-1)$
- $x_q(k) = \varepsilon_q(k) + \varepsilon_q(k-1) + \varepsilon_q(k-2) + \dots$

Modulação delta (delta modulation - DM) - Características -

- Um sistema DM assegura a transmissão digital de sinais analógicos com um hardware muito simples quando comparado com o PCM;
- O nome delta reflecte o facto de que cada amostra do sinal de entrada é codificada com um único pulso de amplitude $+\Delta$ ou $-\Delta$:
 - o sinal transmitido $\varepsilon_q(k)$ pode ser visto como uma onda binária com um ritmo $r_b = f_s$, i.e. um bit por amostra;
 - este bit pode ser visto como um bit de polaridade, indicando se o sinal aumentou (transmite-se $+\Delta$) ou decresceu (transmite-se $-\Delta$) em relação à última amostra.

Modulação delta (delta modulation - DM)

- Ruído de quantificação e ruído de saturação de declive -



- Para que o circuito de realimentação consiga acompanhar as variações rápidas do sinal de entrada, e assim diminuir o ruído de saturação de declive, a seguinte condição tem que ser satisfeita:

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta f_s$$

\Rightarrow

Escolha de Δ e f_s :

- o aumento de f_s conduz a um aumento do ritmo de transmissão;
- o aumento de Δ contribui para o aumento do ruído de quantificação, que é relevante nos casos em que a variação do sinal é lenta.

\Rightarrow Compromisso entre estes dois factores

Modulação delta (delta modulation - DM) - Relação sinal-ruído de quantificação -

- O cálculo da s/n_q é baseado nas seguintes hipóteses:
 - não há ruído de saturação do declive;
 - o ruído de quantificação (ou granular) tem uma distribuição uniforme com amplitude compreendida entre $-\Delta$ e $+\Delta$;
 - o ruído de quantificação tem uma densidade espectral de potência constante contida na banda $[0, f_s]$.
- Assim, o valor quadrático médio do ruído de quantificação é dado por:

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon^2 p(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} \varepsilon^2 d\varepsilon = \frac{\Delta^2}{3}$$

Modulação delta (delta modulation - DM)

- Relação sinal-ruído de quantificação (cont.) -

- A potência de ruído de quantificação vem dada por (considerando um filtro passa-baixo, à saída do receptor, com largura de banda B) :

$$n_q = \int_{-B}^B S_\varepsilon(f) df = \int_{-B}^B \frac{\langle \varepsilon^2 \rangle}{2f_s} df = \frac{B}{f_s} \frac{\Delta^2}{3}$$

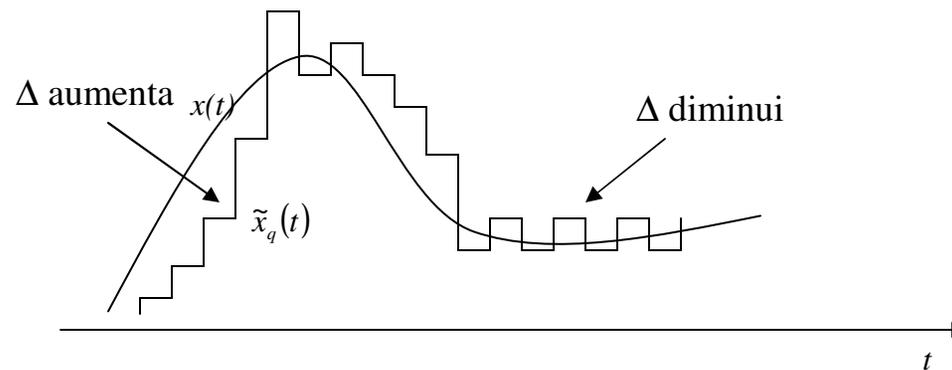
- Relação sinal - ruído de quantificação:

$$\frac{s}{n_q} = \frac{3f_s}{\Delta^2 B} s$$

NOTA: Em condições reais f_s e Δ são calculados de modo a introduzir o mínimo ruído possível, tanto o ruído de quantificação como o ruído de saturação de declive.

Modulação delta adaptativa (ADM)

- O desempenho de um modulador delta pode ser melhorado consideravelmente se se ajustar o passo de quantificação (Δ) em função do sinal de entrada, de modo a eliminar a saturação de declive:

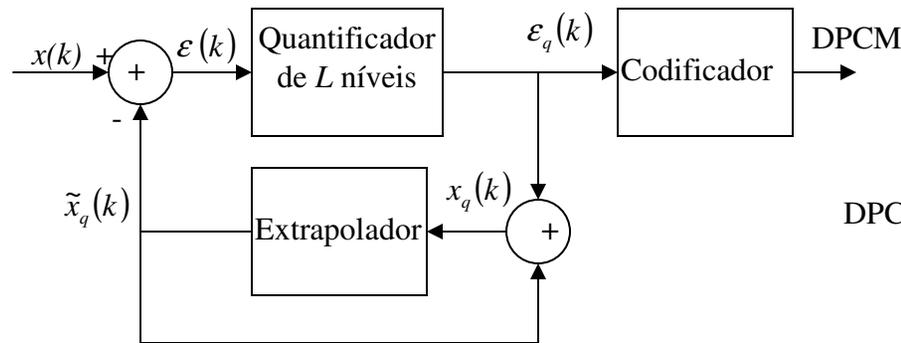


- A relação sinal-ruído da codificação ADM é tipicamente 8-14 dB melhor que a da codificação DM.

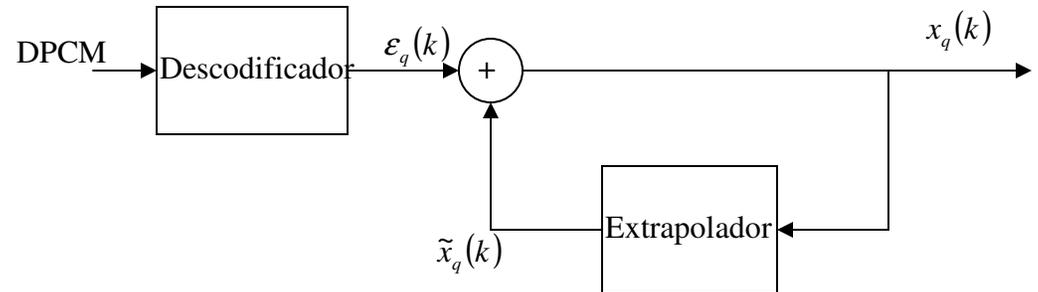
Modulação PCM diferencial (DPCM)

- Diagrama de blocos do emissor e receptor -

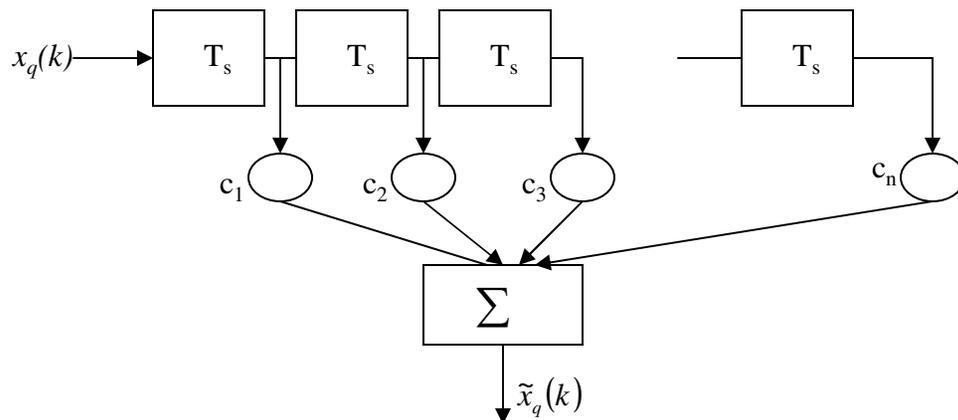
Codificador DPCM:



Descodificador DPCM:



Extrapolador (e.g. filtro transversal):



$$\tilde{x}_q(k) = \sum_{i=1}^n c_i x_q(k-i) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(i) x_q(k-i)$$

- Os coeficientes do filtro transversal são calculados de modo a minimizar o valor quadrático médio do erro $\varepsilon(k)$.
- A resposta impulsiva do filtro $h(i) = c_i, i = 1..n$

Modulação PCM diferencial (DPCM) - Características -

- Assume-se que existem L níveis de quantificação, os quais estão espaçados de 2Δ ;
- O declive do quantificador deve ser superior ou igual à variação máxima do sinal de entrada para se evitar a saturação de declive,

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta (L - 1) f_s$$

- Na situação em que $L \gg 1$ a frequência de amostragem f_s pode ser feita tão baixa quanto $f_s = 2f_{max}$.

Modulação PCM diferencial (DPCM)

- Ganho de extrapolação, g_p -

- Defina-se o ganho de extrapolação g_p como sendo o valor de melhoria da relação sinal-ruído de quantificação do DPCM em relação ao PCM:

$$\left(\frac{s}{n_q}\right)_{DPCM} = g_p \left(\frac{s}{n_q}\right)_{PCM} \quad \text{com} \quad g_p = \left[1 - \sum_{i=1}^n c_i \rho_i\right]^{-1}$$

$\rho_i = R_x(iT_s) / \sigma_x^2$ é o coeficiente de correlação do sinal de entrada normalizado e os coeficientes do filtro, c_i , satisfazem a seguinte relação matricial:

$$\begin{bmatrix} \rho_0 & \rho_1 & \rho_{n-1} \\ \rho_1 & \rho_0 & \rho_{n-2} \\ \rho_{n-1} & \rho_{n-2} & \rho_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_n \end{bmatrix}$$

Modulação PCM diferencial (DPCM) - Considerações gerais -

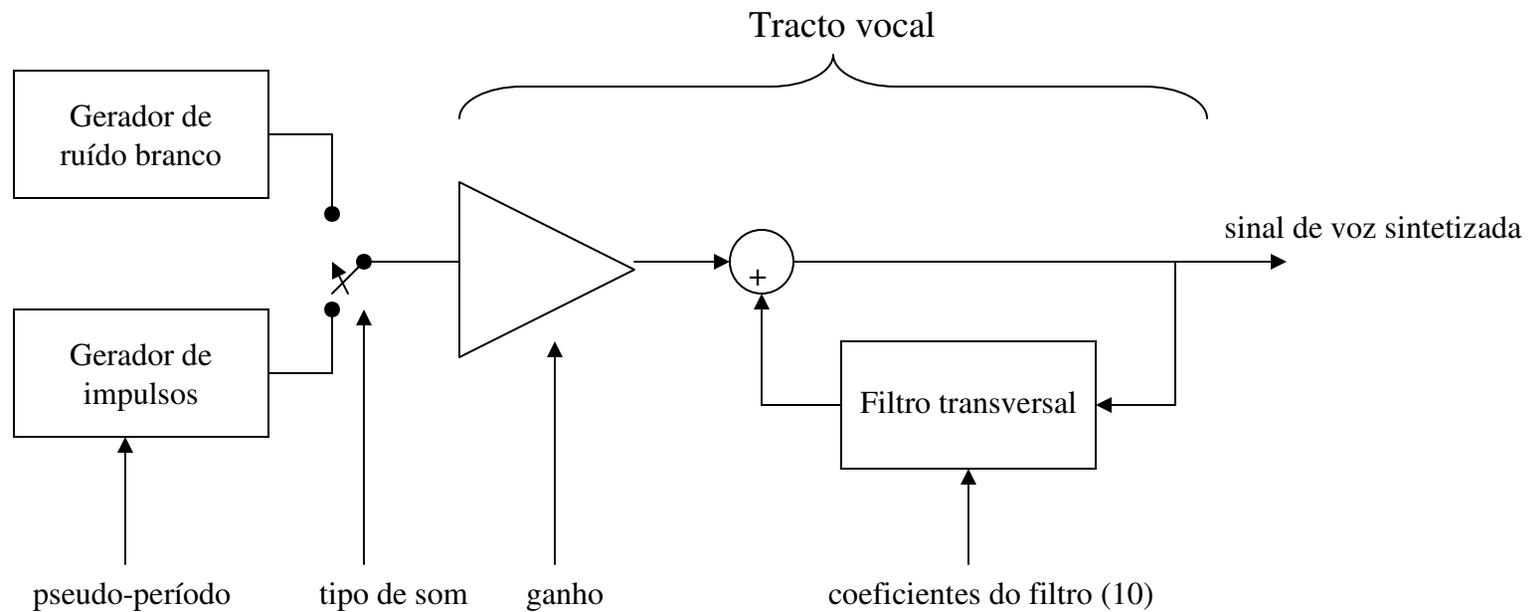
- No caso da voz conseguem-se ganhos g_p da ordem dos 5-10 dB;
- Para o caso do vídeo esses ganhos são da ordem dos 12 dB devido à maior correlação entre amostras;
- A transmissão de sons não-vozeados, cuja correlação é próxima de zero, é muito degradada quando se usa o DPCM:
 - uma solução para este problema consiste em ajustar permanentemente os coeficientes do extrapolador e/ou o quantificador às características do sinal de entrada - **DPCM adaptativo (ADPCM)**;
 - Com o ADPCM é possível a transmissão de voz a [24-32] kb/s com uma qualidade praticamente idêntica à do PCM a 64 kb/s.

Codificadores de voz (voice coders - vocoders)

- A maior parte das técnicas de codificação descritas têm como principal objectivo a reprodução tão fiel quanto possível do sinal transmitido;
- A ideia dos vocoders é a transmissão de um certo número de parâmetros característicos do **sinal de voz** que possibilitem a sua futura síntese no receptor (e não a transmissão codificada das amostras do sinal);
- Existem duas fases distintas no processo de codificação:
 - análise ou geração dos parâmetros (no emissor) - permite a modelação da função de transferência do tracto vocal (garganta, língua, boca e cavidade nasal) e o tipo de excitação associados aos sinais de voz - implica a definição do tipo de sons (vozeados, não-vozeados);
 - síntese do sinal (no receptor).
- O tipo de vocoder que se irá abordar é o codificador LPC (Linear Predictive Coding).

LPC (Linear Predictive Coding)

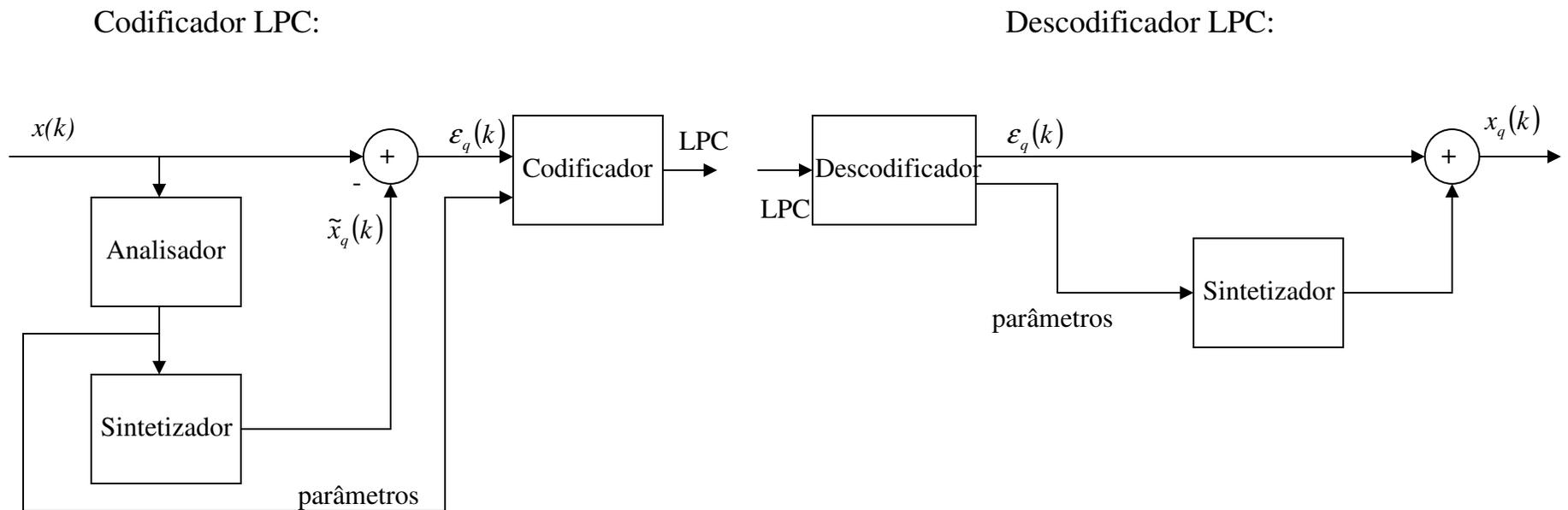
- Sintetizador de voz -



- Os parâmetros são actualizados todos os 10 a 25 ms (ritmo silábico);
- O sinal sintetizado é perfeitamente inteligível, mas percebe-se que se trata de um som artificial.

LPC (Linear Predictive Coding)

- Diagrama de blocos do emissor e receptor -



- Cada palavra do código LPC tem 80 bits (1 bit para o tipo de voz, 6 bits para o pseudo-período, 5 bits para o ganho, 6 bits para cada um dos coeficientes do filtro - 10, e 8 para o sinal de erro);
- Admitindo que a actualização dos parâmetros é feita de 10 em 10 ms, obtém-se um ritmo de transmissão de 8 kb/s (8 vezes inferior ao PCM);
- Aplicações: este vocoder serviu de ideia base ao codificador de voz do sistema de rádio móvel digital europeu GSM – que possibilita a transmissão de um canal de voz a 13 kb/s.

Características de diferentes técnicas de codificação de voz

	Técnica de codificação	Frequência de amostragem [kHz]	Bits/amostra	Ritmo binário [kb/s]
Codificação do sinal	PCM	8	7-8	56-64
	DM	64-128	1	64-128
	ADM	48-64	1	48-64
	DPCM	8	4-6	32-48
	ADPCM	8	3-4	24-32
	LPC	0.04-0.1	80	3-8

Codificação de fonte

Transmissão de um conjunto de parâmetros do sinal de voz que possibilita a sua síntese no receptor.