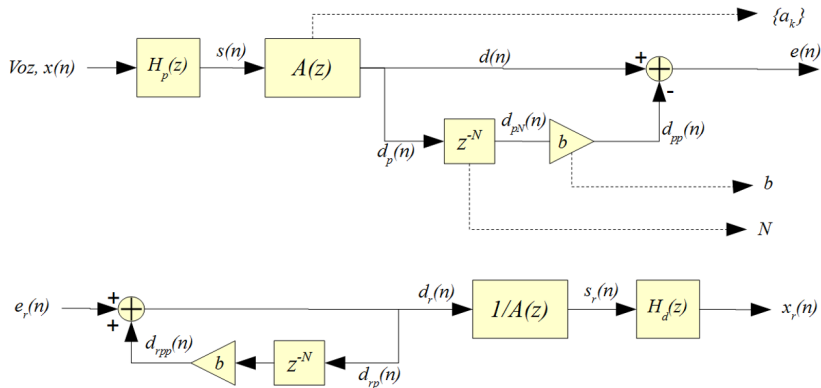


Codificador CELP

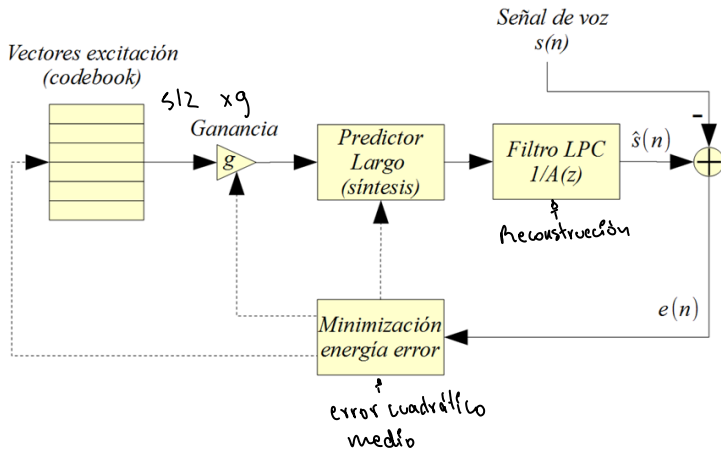
Procesado de sonido

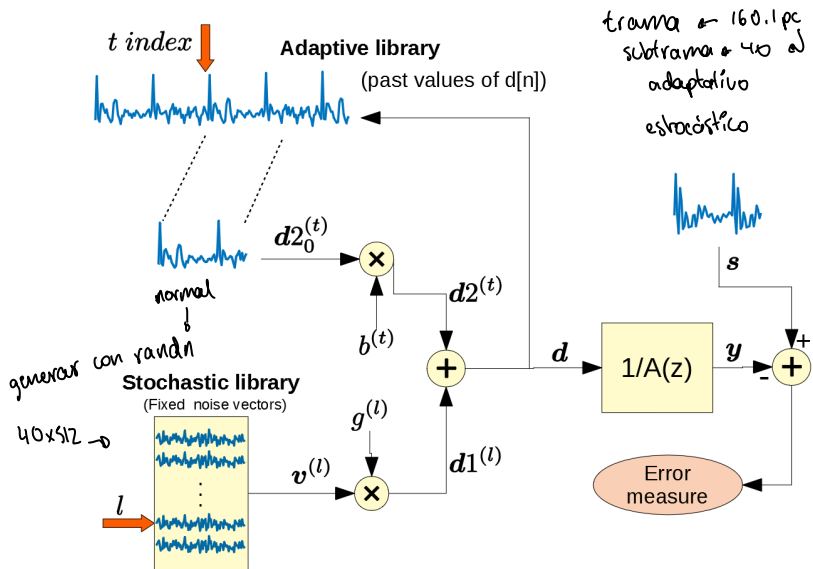
Universidad de Vigo



- Se usan las muestras pasadas de $d[n]$ para modelar la contribución del pitch.
- Se codifican los LPC, $e(n)$, N y b (demasiados parámetros).

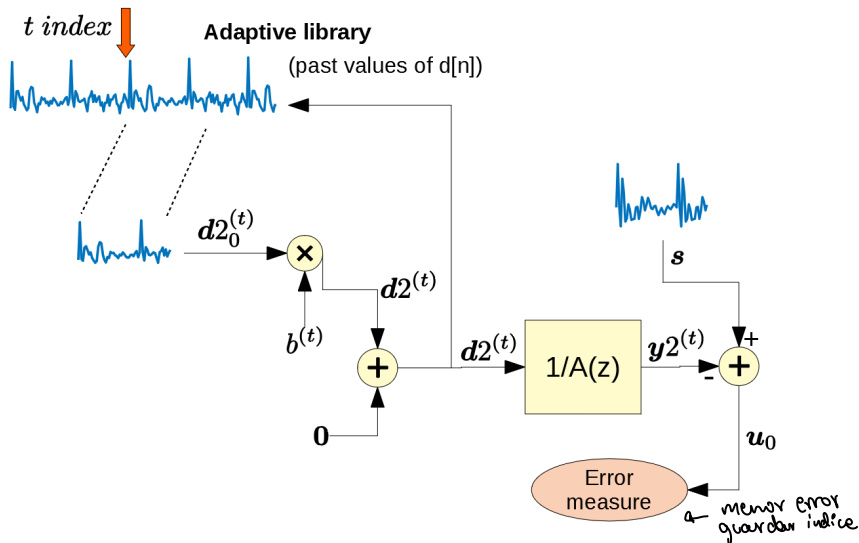
CELP: idea básica





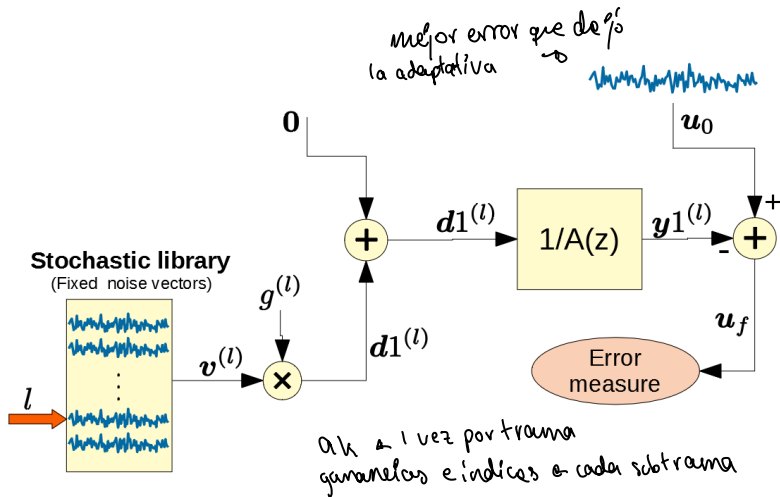
- Codif. y decodif. tienen la misma estructura de biblioteca adaptativa y estocástica.
- Análisis mediante síntesis.

Codificador CELP: contribución adaptativa



- Se recorren todas las posibles secuencias candidatas y se elige aquella que resulta en menor error.

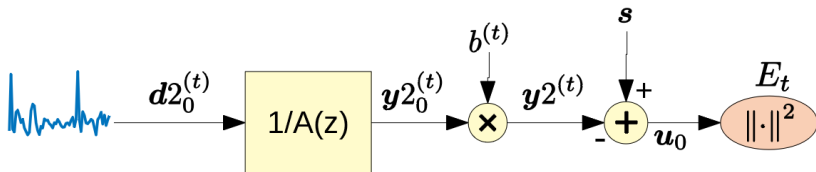
Codificador CELP: contribución estocástica



- Se selecciona aquel candidato que mejor aproxima la parte no modelada por la contribución adaptativa.

- En el CELP se hace una búsqueda exhaustiva.
 - Se recorren todos los vectores de las bibliotecas para encontrar el mejor candidato.
 - Teóricamente habría que recorrer todas las posibles combinaciones de vectores de ambas bibliotecas, con todas las posibles ganancias para cada vector.
 - En la práctica se optimiza primero la biblioteca adaptativa y después la estocástica.
 - Las ganancias se calculan como se explica más adelante.
- La biblioteca estocástica contiene vectores de ruido.
 - Se puede generar como una simple matriz de valores obtenidos con *randn()*.
 - Receptor y transmisor deben usar la misma biblioteca.
- La biblioteca adaptativa utiliza muestras pasadas de $d(n)$ (como el RPE-LTP).

La ganancia se puede situar despues del filtro:



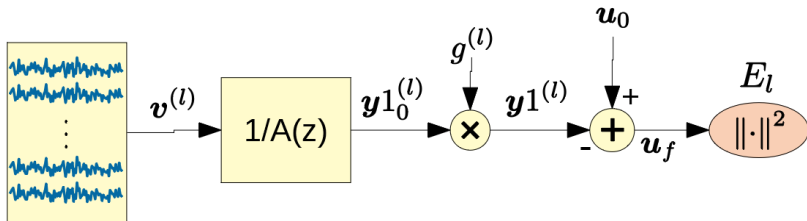
- Considerando vectores fila: $E_t = (\mathbf{s} - b^{(t)} \mathbf{y2}_0^{(t)}) \cdot (\mathbf{s} - b^{(t)} \mathbf{y2}_0^{(t)})^T$
- La ganancia de la secuencia candidata se obtiene derivando respecto a $b^{(t)}$ e igualando a cero:

$$b^{(t)} = \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{y2}_0^T}{\mathbf{y2}_0 \cdot \mathbf{y2}_0^T} = \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{y2}_0^T}{\|\mathbf{y2}_0\|^2}$$

para todos los candidatos posibles de las subtramas

- Para simplificar la notación, en la parte derecha de la expresión anterior se ha omitido el índice (t).
- Seleccionamos el índice t y la ganancia $b^{(t)}$ que minimizan la energía del error, E_t .
- El cálculo para la biblioteca estocástica es análogo.

La ganancia se puede situar después del filtro:

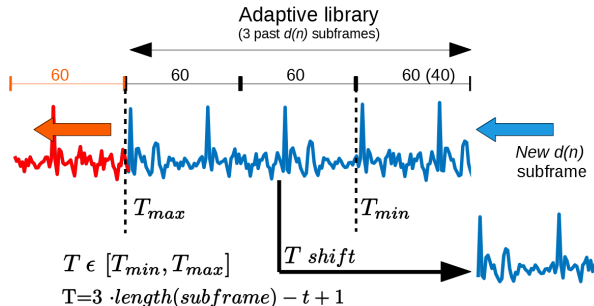


- Minimizando la energía del error respecto a $g^{(l)}$ se obtiene:

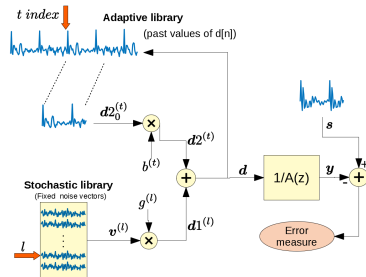
$$g^{(l)} = \frac{u_0 \cdot y1_0^T}{\|y1_0\|^2}$$

- Nuevamente, por claridad, se ha omitido el índice (l) en la derecha de la expresión anterior.
- Lógicamente, seleccionamos el índice l y la ganancia $g^{(l)}$ que minimizan la energía del error, E_l .

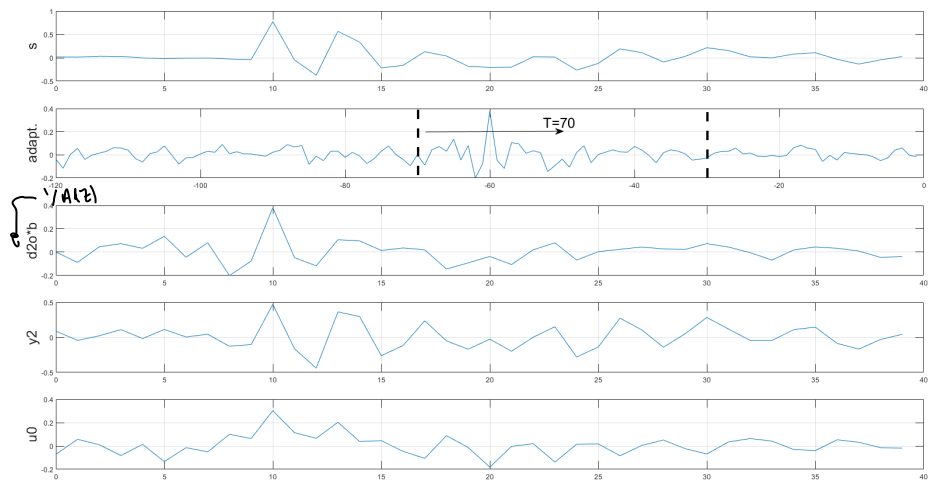
Codificador CELP: actualización biblioteca adaptativa



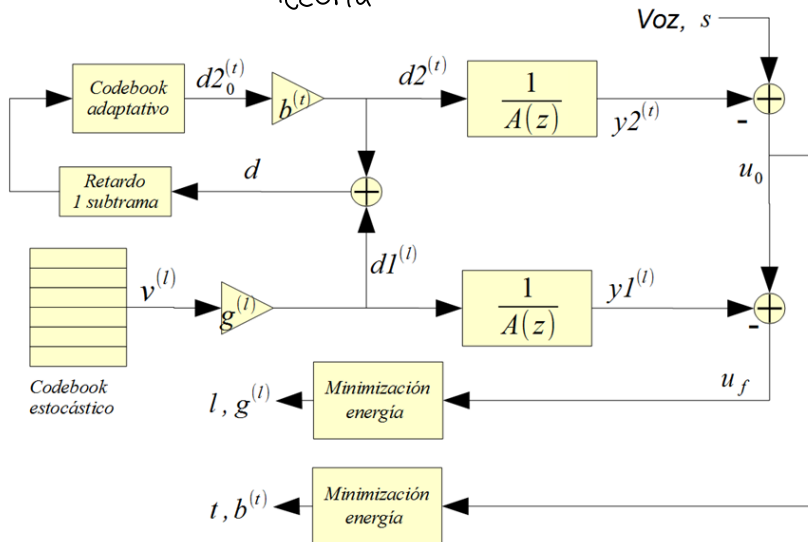
- $\mathbf{d} = \mathbf{d}1^{(l)} + \mathbf{d}2^{(t)} = \mathbf{g}^{(l)} \mathbf{v}^{(l)} + b^{(t)} \mathbf{d}2_0^{(t)}$
- Consideraremos que contiene las muestras de $d(n)$ en las tres subtramas pasadas.
- Generamos T a partir del índice t para obtener un valor relacionado con la periodicidad de la señal (como N en el RPE-LTP)
- La biblioteca se actualiza al final de cada subtrama.



Codificador CELP: ejemplo de funcionamiento

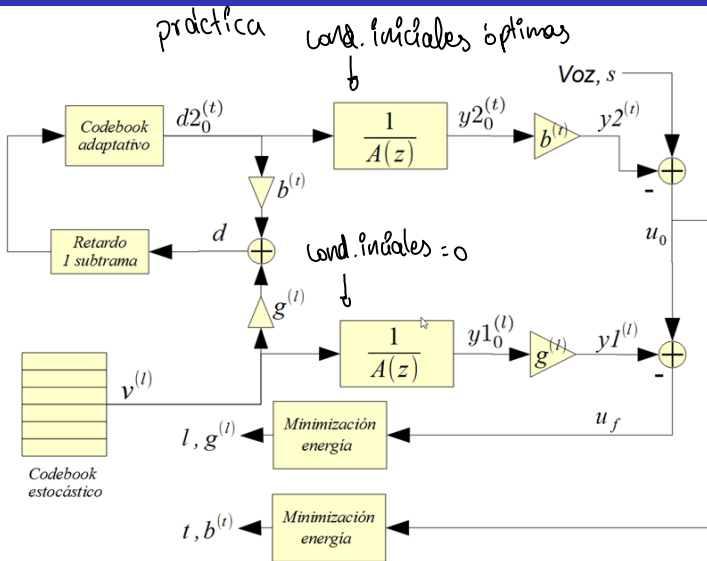


teoría



Señal reconstruida: $\hat{s}(n) = y_1^{(l)}(n) + y_2^{(t)}(n)$

Codificador CELP: simulación básica alternativa



- Extraer una trama (160 o 240 muestras) y estimar el filtro $A(z)$.
- Dividir en cuatro subtramas de 40 o 60 muestras.
- Para cada subtrama:
 - Recorrer la biblioteca adaptativa. Para cada vector candidato $d2_0^{(t)}$ de longitud la de una subtrama:
 - 1 Filtrar el candidato usando $1/A(z)$ para obtener $y2_0^{(t)}$.
 - 2 Obtener la ganancia $b^{(t)}$.
 - 3 Obtener la energía del error u_0
 - 4 Elegir el vector candidato (o índice t) y ganancia que minimizan la energía del error.
 - Recorrer la biblioteca estocástica (512 vectores de longitud la de la subtrama). Procedimiento análogo al anterior. Ejemplo de inicialización:

```
M = 512; N=40; rng(1); v = randn(M,N);  
% inicialización con una distribución N(0,1) y semilla 1.  
% Cada fila es un vector de longitud la de la subtrama.
```

Implementación de la primera versión del CELP.

- Bibliotecas adaptativas y estocástica.
- Considerad dos filtros $1/A(z)$, cada uno con sus condiciones iniciales y finales particulares.
- Durante la búsqueda de los vectores de excitación las condiciones iniciales de los filtros permanecen inalteradas.
- Orden de predicción $p = 10$.
- Consideraremos la siguiente asignación de bits:
 - 8 bits para cada ganancia.
 - 9 bits para el índice de la biblioteca estocástica.
 - 7 bits para el índice de la biblioteca adaptativa.
 - 3 bits por coeficiente LPC.

Handwritten notes: $\left. \begin{array}{l} \text{9 bits para el índice de la biblioteca estocástica.} \\ \text{7 bits para el índice de la biblioteca adaptativa.} \end{array} \right\} 1 \text{ vez x subtrama}$
 $\text{3 bits por coeficiente LPC.} \rightarrow \text{cada trama}$
- Ojo al calcular el número de bits por muestra ya que algunos parámetros se estiman en cada trama y otros en cada subtrama.

Ejemplo de cabecera para la función desarrollada:

```
function [sh,B,G,AK,Tv,indv, bits_muestra]=celp_basico(s,Ltrama,Lsubtrama,p)
```

```
% sh, señal de voz reconstruida  
% B y G vectores con las ganancias adaptativa y estocástica de las  
%     distintas subtramas  
% Ak, matriz con los LPC de cada trama  
% bits_muestra, número de bits por muestra.  
% s, señal de voz  
% Tv, vector con los distintos valores de T en la excitación adaptativa.  
% indv, vector con los distintos índices seleccionados de la excitación estocástica.  
% Ltrama y Lsubtrama, longitudes de trama y subtrama.  
% p, orden de predicción.
```

- Ilustrad el funcionamiento del codificador con figuras debidamente comentadas (fragmentos representativos de formas de onda, contribuciones adaptativa y estocástica, evolución de las ganancias, etc.)
- Comparad el funcionamiento, en términos de SNR global, SNRseg y SNRm, utilizando tramas de 160 y 240 muestras (con subtramas de 40 y 60 muestras, respectivamente) con distintas voces.